ISSN 1405-0471

Madera y Bosques



INSTITUTO DE ECOLOGIA, A.C.

OTOÑO
2011 17(3)
Xalapa, Ver.

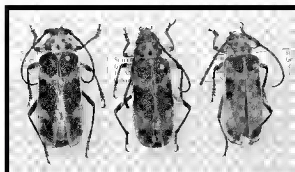
Madera y Bosques, es una publicación del Instituto de Ecología, A.C., que edita la Red de Ambiente y Sustentabilidad. Los trabajos que publica tratan los temas de tecnología de productos forestales y del campo forestal en general, con énfasis en ecología forestal y manejo forestal. Se aceptan trabajos en español, inglés y ocasionalmente en otros idiomas. Su objetivo principal es constituirse en un medio de difusión de la investigación científica. Asimismo, publica contribuciones técnicas y estados del arte que incidan en el medio nacional e internacional. Es una publicación trimestral que aparece en primavera, en verano, en otoño y en invierno.

Madera y Bosques, Vol. 17 Núm. 3 de 2011. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2005-062018152600-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 12906. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10479. Domicilio de publicación: Carretera Antigua a Coatepec No. 351. El Haya. 91070 Xalapa, Ver., México. Imprenta: Cromoeditores S.A. de C.V., Miravalles 703. Col. Portales 03300 México, D.F.
La suscripción anual para 2011 es de $450.00+$150.00 gastos de envío al interior de la República y $45.00 USD al extranjero. Precio por ejemplares sueltos $160.00 y $15.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions, Tenochtitlan No. 26 L10 M7, Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F. México, Tel/Fax (55) 5643-2939, ce:mmaximomx@yahoo.com.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e:libros@inecol.edu.mx. Esta revista forma parte de los índices y portales de difusión ISI Web of Science (Science Citation Index Expanded), Journal of Citation Records (JCR), Revistas Mexicanas de Investigación en Ciencia y Tecnología (IRMICyT) del CONACYT, Redalyc, Dialnet, Periódica, Índice Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología, SCOPUS, Actualidad Iberoamericana, CAB Forest Products Abstracts, Latindex y Seriunam.

MADERA Y BOSQUES

Vol.17 Núm. 3 Otoño de 2011

CONTENIDO



Nuestra portada: Ejemplares hembra de *Crioprosopus magnifucus*, emergidas de *Quercus potosina* en Sierra Fría, Aguascalientes.

Autor: Joaquín Sosa Ramírez.

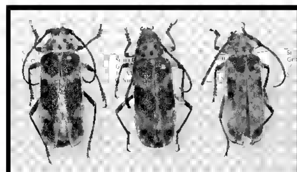
MADERA Y BOSQUES

Vol.17 Num. 3 Autumn 2011

TABLE OF CONTENTS

Our cover: Unit female of *Crioprosopus magnifucus*, emerged from *Quercus potosina* in Sierra Fría, Aguascalientes.

Authors: Joaquín Sosa Ramírez.



El siglo XXI se identificará en el futuro como el siglo en que la humanidad tomó conciencia plena del impacto de sus actividades sobre el ambiente. Uno de los temas cruciales que se debaten en esta época, en el mundo, se refiere al cambio climático. La gran mayoría de los gobiernos del mundo han manifestado su preocupación por las consecuencias del cambio climático global, si bien no todos se han comprometido de la misma manera a tratar de revertir los efectos de este importantísimo fenómeno. Algunos países han optado por hacer caso omiso de las eventuales consecuencias de sus acciones, particularmente, los Estados Unidos y China, quienes son las dos mayores economías del mundo y han decidido no participar en acuerdos internacionales que buscan reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). De cualquier manera, existen muchos esfuerzos individuales y colectivos para tratar de aminorar los efectos de los citados GEI y, por lo tanto, se mantiene vigente la esperanza, con el esfuerzo continuado y decidido de la mayoría, de restablecer el equilibrio entre las emisiones de gases más otros contaminantes igualmente preocupantes y, la capacidad del ambiente para asimilarlos sin mayores consecuencias, como sucedía en el pasado, antes de la Revolución Industrial.

Uno de los principales elementos con que contamos para contrarrestar los efectos nocivos de los GEI es la vegetación leñosa de los bosques y selvas, que actúan como sumideros de carbono. Dentro de las estrategias nacionales y regionales, enfocadas hacia la reducción y mitigación de los GEI, el concepto de REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal) constituye una de las opciones más efectivas y económicas para mejorar el manejo forestal y la conservación de bosques. La aplicación de este planteamiento, además, contribuye a mejorar las condiciones de vida de los poseedores de bosques y al desarrollo sustentable de las regiones forestales, ubicadas frecuentemente en zonas marginadas. La perspectiva REDD+ es novedosa y constituye una oportunidad para impulsar acciones de colaboración académica e interinstitucional con los tres niveles de gobierno, y de vinculación entre la investigación interdisciplinaria y los involucrados en la actividad forestal. En este número de la revista, se presenta un diagnóstico general de la situación del sector forestal de Veracruz, México y de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), para identificar las áreas de oportunidad que permitan conjuntar esfuerzos entre los académicos y dueños de bosques, y que deriven en acciones para mejorar el manejo de estos ecosistemas.

Otro tema de gran interés científico y para la sociedad en general tiene que ver con los usos y riesgos del agua en las cuencas hidrológicas. En muchos países, entre ellos México, el agua se considera un recurso escaso y valioso. En este número se incluye un ensayo que toma como caso de estudio la cuenca del río La Antigua, en Veracruz, México. Esta cuenca capta una gran cantidad de agua y aún así se perciben problemas relacionados con el vital líquido. Las evidencias y el análisis revelan la existencia de un imaginario colectivo compartido entre habitantes, autoridades, analistas y científicos, según el cual el agua es vital, valiosa y escasa. Esta visión se contradice con el comportamiento de las personas respecto del uso del agua y manejo del territorio de la cuenca, el cual corresponde al que se asociaría a un recurso abundante, de bajo costo y sin externalidades significativas en su uso. El escenario descrito representa la respuesta pragmática frente a un fragmento del total del agua existente, alrededor del cual funcionan ciertos

procesos culturales que redefinen la disponibilidad y el buen uso del agua que transita en los sistemas sociales. Comprender este escenario es indispensable para ofrecer a los responsables de la política hidrológica locales, y otros lugares en México y el mundo, explicaciones sobre el poco provecho que otorga enfatizar soluciones tecnológicas para aliviar una aparente escasez, imposible en un recurso con tantas y distintas funciones y valoraciones.

Continuando con el tema del agua en ambientes forestales, se incluye un trabajo que describe la modelación del contenido de agua de los suelos y su relación con los incendios forestales en el Occidente de México. Las técnicas que predicen el riesgo de incendios forestales utilizan un sub-modelo hidro-climático. En esta investigación se probaron los efectos de la precipitación, de la evaporación medida en tanques, de la evapotranspiración potencial estimada, y del contenido de humedad del suelo, con el número de incendios y la superficie forestal incendiada del estado de Durango, México. Para el cálculo de estas variables se aplicó un modelo físicamente basado en la estimación del balance del agua de los suelos forestales que se alimenta con variables climáticas, de cobertura forestal, edafológicas y de ponderación. Además, se relacionó el fenómeno climático El Niño con las variables de los incendios forestales previamente señalados. La humedad del suelo estimada con el modelo hidrológico resultó ser mejor predictora del número de incendios y de la superficie forestal incendiada que los factores climáticos simples.

En temas muy afines a la vulnerabilidad de los bosques, se incluye un estudio sobre la ecología y fito-sanidad de los encinos en un bosque de México. En el estudio se evalúan la distribución y abundancia de las especies de encinos (Quercus spp), los factores ambientales que afectan su distribución y la identificación de los patógenos e insectos asociados a la declinación y muerte de estos árboles en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. Se identificaron 10 especies de encinos, siendo la altitud, el relieve, la exposición del sitio y la fisiografía las variables que influyeron sobre su distribución y abundancia. Se identificaron los fitopatógenos Phellinus robustus, P. gilvus, P. everhartii, Ganoderma lucidum e Hypoxylon thouarsianum, siendo el último el más ampliamente distribuido. Se identificó al barrenador Crioprosopus magnificus infestando encinos vivos.

El último artículo tiene que ver con un asunto de gran interés para el manejo productivo de los bosques y se trata de la variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de Abies religiosa (H.B.K.) Schlecht. et Cham., en condiciones de vivero. Abies religiosa presenta una amplia distribución en la República Mexicana. En el Valle de México se ubica en las zonas montañosas que rodean al mismo y sus bosques forman parte del bosque periurbano del Área Metropolitana de la Ciudad de México. No obstante lo anterior, estos sitios arbolados están sujetos a un grave deterioro por lo que es necesario buscar alternativas para su restauración.

Esta información será de gran utilidad para los usuarios y estudiosos del recursos forestal y aportará valiosas ideas que ayuden a mejorar las condiciones ambientales del país.

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

EDITORIAL

The 21St century will be identified in the future as the century in which humanity took full awareness of the impact of their activities on the environment. One of the key issues being debated at this time in the world refers to climate change. The vast majority of the world's Governments have expressed concern about the consequences of global climate change, although not all have committed themselves in the same way to try to reverse the effects of this very important phenomenon. Some countries have opted to ignore the possible consequences of their actions, particularly the United States and China, who are the two largest economies in the world and have decided not to participate in international agreements seeking to reduce the emission of GHG (greenhouse gases). Anyway, there are many individual and collective efforts to try to mitigate the effects of these greenhouse gases and therefore the hope stays current that, with the continued and determined effort of most people, it will be possible to restore the balance between gas emissions and other pollutants that keep worrying mankind and, the capacity of the environment to absorb them without greater consequences, as it was the case in the past, before the Industrial Revolution.

One of the main elements we have to counteract the harmful effects of greenhouse gases is the woody vegetation of forests and jungles, acting as carbon sinks. Among national and regional strategies, focused towards the reduction and mitigation of greenhouse gases, the concept of REDD+ (reducing emissions from deforestation and forest degradation) is one of the most effective and inexpensive options to improve forest management and the conservation of forests. The implementation of this approach, in addition, contributes to improve the living conditions of the possessors of forests and to the sustainable development of the forest regions, often located in marginalized areas. The REDD+ perspective is innovative and provides an opportunity to promote actions of academic and inter-institutional collaboration with the three levels of Government, and linkage between interdisciplinary research and those involved in forestry. This number of the journal presents a general diagnosis of the situation of the forestry of Veracruz, Mexico and of the natural protected Areas (ANP), and identifies areas of opportunity that allow to combine efforts between academics and forest owners, resulting in actions to improve the management of these ecosystems.

Another topic of great scientific interest and for society in general, has to do with the uses and risks of the water in watersheds. In many countries, Mexico among them, water is a scarce and valuable resource. This number includes an essay that takes as a case study the basin of the river La Antigua, Veracruz, Mexico. This basin captures a lot of water and yet, people living in it perceive problems related to the vital liquid. The evidence and analysis reveal the existence of a collective imaginary shared between people, authorities, analysts and scientists, whereby water is vital, valuable and scarce. This view contradicts the behavior of persons with regard to the use of water and the management of the territory of the basin, which corresponds one that would be associated to an abundant resource, low cost and no significant externalities in its use. The described scenario represents the pragmatic response to a fragment of the total of the existing water, around which certain cultural processes that redefine the availability and the proper use of water that passes in social systems. To understand this scenario is essential to give local managers

of water policy and from other places in Mexico and the world, explanations about the little advantage conferred on emphasizing technological solutions to alleviate an apparent scarcity, impossible in a resource with many different features and ratings.

Continuing with the theme of water in forest environments, in this number there is a work that describes the modeling of the water content of the soil and its relationship with the forest fires in the West of Mexico. Techniques to predict the risk of forest fires use a hydro-climate sub-model. The effects of precipitation, evaporation measured in tanks, potential evapo-transpiration estimated, and moisture content of the soil, with the number of fires and the burning forest area of the State of Durango, Mexico were tested in this research. The model is physically based on the estimation of the water balance of the forest soils are fed with climatic variables, of forest cover, pedology; specific weighting was applied for the calculation of these variables. In addition, the El Niño climate phenomenon was related with forest fires and the previously mentioned variables. The soil moisture estimated with the hydrological model proved to be a better predictor of the number of fires and the forest area burned, rather than simple climatic factors.

*Other topic very related to the vulnerability of forests, includes a study on the ecology and phyto-health of the Oaks in the forest of Mexico. The study assesses the distribution and abundance of species of Oaks (*Quercus *spp.), the environmental factors affecting their distribution and identification of the pathogens and insects associated with the decline and death of these trees in the Sierra Fría, Aguascalientes, Mexico. Authors identified 10 species of Oaks, being the altitude, the relief, the exposure of the site and physiography the variables that most influenced their distribution and abundance. The writers identified* the plant pathogens Phellinus robustus, P. gilvus, P. everhartii, Ganoderma lucidum *and* Hypoxylon thouarsianum, *the last being the most widely distributed. The also identified the borer Crioprosopus magnificus infesting live oaks.*

The last article has to do with a matter of great interest for the productive management of forests and it is the variability in growth of seedlings of eight origins of Abies religiosa *(H.B.K.) Schlecht. et Cham., in nursery conditions.* Abies religiosa *presents a wide distribution in the Mexican Republic. In the Mexico Valley it is located in the mountainous areas surrounding it and, its forests are part of the peri-urban forest in the metropolitan area of Mexico city. In spite of the above, these wooded sites are subject to a serious deterioration so it is necessary to look for alternatives for its restoration.*

The information presented in this issue will be useful for forest users and scholars of the forest resources and will provide valuable ideas to help improve environmental conditions in the country.

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

FORUM

Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+

The forests of Veracruz in the context of a REDD+ state strategy

Patricia Gerez-Fernández[1] y María del Rosario Pineda-López[1]

RESUMEN

Los bosques han sido reconocidos como pieza fundamental para mitigar uno de los impactos que más afectan la vida sobre el planeta: el calentamiento global. El conocimiento generado en las últimas décadas sobre los procesos ecosistémicos y los servicios que estos brindan para el bienestar humano así lo confirman. Dentro de las estrategias nacionales y regionales REDD+, enfocadas hacia la reducción y mitigación de los gases con efecto invernadero, las opciones más efectivas y económicas incluyen mejorar el manejo forestal y la conservación de bosques. Estas opciones, además, contribuyen a mejorar las condiciones de vida de los poseedores de bosques y al desarrollo sustentable de las regiones forestales, frecuentemente en zonas marginadas. Si bien Veracruz ha elaborado una Ley y un Plan Veracruzano de Acción Frente al Cambio Climático, la perspectiva REDD+ es novedosa y constituye una oportunidad para impulsar acciones de colaboración académica e interinstitucional con los tres niveles de gobierno, y de vinculación entre la investigación interdisciplinaria y los involucrados en la actividad forestal del estado. En este contexto, se presenta un diagnóstico general de la situación del sector forestal de Veracruz y de las ANP, para identificar las áreas de oportunidad que permitan conjuntar esfuerzos entre los académicos y dueños de bosques, y que deriven en acciones para mejorar el manejo de estos ecosistemas.

PALABRAS CLAVE:
ANP, bosques, deterioro, manejo forestal, REDD+, Veracruz.

ABSTRACT

Nowadays, forests have a key role to mitigating the effects global warming has on our planet. Scientific knowledge on ecosystem processes and services to human wellbeing confirm this. As an important component on REDD+ national and regional strategies, which will guide the actions needed to reduce and mitigate the greenhouse gases emissions, forest management and forest conservation are the most effective and less costly measures. This kind of strategies will contribute directly to improve the life conditions of forest owners, and socioeconomic development conditions of forest regions. Even though Veracruz state has developed a Law and an Action Plan towards Climate Change, a REDD+ perspective is still a novelty. It constitutes an opportunity for academic collaboration with government institutions on the three levels, with forest owners, and with those involved in forestry activity along the state. In this context, we present a general analysis on Veracruz´ forests situation, pointing out the deforestation and degradation trends and active processes, to outline certain aspects as opportunity areas to develop collective efforts between academia and forest owners, to improve the management of our forest ecosystems for the benefit of society.

KEY WORDS:
Protected areas, forests, degradation, forest management, REDD+, Veracruz.

1 Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana. pgerez@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En las acciones de mitigación y adaptación que se están identificando y promoviendo a nivel global para reducir la emisión de los gases con efecto invernadero (GEI), la atención prioritaria se dirige a la modificación mundial en las pautas de consumo de los energéticos fósiles, a través de la reducción o fomentando mayor eficiencia y tecnologías alternativas. En términos del porcentaje de GEI que aportan los diferentes sectores productivos y económicos a la atmósfera, 30.9% proviene de los procesos de desforestación y de actividades relacionadas con la ganadería y la agricultura (IPCC, 2007).

Los bosques tienen un papel fundamental en las acciones de mitigación propuestas a nivel mundial; específicamente por su función de capturar bióxido de carbono de la atmósfera y almacenarlo, a mediano y largo plazo, en la madera y biomasa del suelo (De Jong *et al.,* 2004; Jaramillo, 2004; Rosa *et al.*, 2004).

En este contexto se reconoce que entre las acciones propuestas como medidas de mitigación de los GEI, las relacionadas con los bosques son, a corto y mediano plazo, las más prácticas y efectivas en términos económicos, sobre todo porque contribuyen directamente a las economías regionales, a la conservación de suelos y de cuencas altas y al bienestar de los habitantes del campo y dueños de los bosques (The Forests Dialogue, 2008).

En nuestro país las tasas de deforestación y deterioro de las áreas forestales indican que tenemos un gran reto para reducir estas emisiones y para transformar al sector forestal en un aliado activo en las acciones que se están identificando (CEIBA, 2010).

En el proceso de elaborar una Estrategia Nacional de Cambio Climático,[2] se han impulsado procesos estatales piloto, como el de Chiapas (Vargas Guillén *et al.,* 2009) y el de Veracruz (CICC, 2007; PVCC, 2008; Ley 878 de Veracruz); los cuales se insertan en un proceso mundial para impulsar estrategias nacionales, regionales y locales, junto con marcos legales novedosos que permitan prever e identificar los cambios que se avecinan y sus efectos, así como proponer acciones para mitigarlos o reducirlos.

Desde el sector forestal, en 2008 la Conafor convocó a varios sectores para impulsar una Estrategia para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Deterioro (REDD)[3], acorde con el marco de una estrategia mundial y con el fin de revisar los incentivos que han operado hasta ahora e incluir nuevos proyectos que permitan reducir la deforestación y la degradación de los bosques con un enfoque novedoso (De Jong y Olguín, 2008). De manera paralela, en 2009 se constituyó el Programa Mexicano del Carbono (PMC), por iniciativa de la Semarnat y el INE, como una asociación civil constituida por académicos, investigadores y estudiantes de diversas instituciones del país, que "busca coordinar, desarrollar, impulsar y sistematizar la investigación científica relativa a los estudios del ciclo del carbono en los diversos ecosistemas terrestres y acuáticos a nivel nacional, y los impactos ecológicos, económicos y sociales, bajo el contexto del cambio climático global", incorpo-

2 Semarnat, 2010. "Visión de México sobre REDD+". Es la plataforma nacional para construir la Estrategia Nacional REDD+ desde Conafor.

3 En los documentos oficiales del IPCC se promueven estrategias REDD, refiriéndose a acciones que reduzcan emisiones por deforestación y por deterioro de las masas forestales, y REDD+ cuando incluyen a los almacenes de carbono en bosques existentes.

rando las actividades agrícolas, pecuarias y forestales (PMC, 2011).

El desarrollo de una estrategia para el cambio climático de nivel estatal ofrece la oportunidad para revisar lo que está sucediendo en las regiones forestales de los estados, con el fin de identificar los indicadores básicos necesarios para establecer líneas base o de referencia que permitan monitorear los efectos del CC, al mismo tiempo que se impulsen acciones concretas de mitigación a través de proyectos productivos.

EL CONCEPTO REDD

Con la puesta en marcha del Protocolo de Kyoto se integró un órgano responsable de revisar y tomar decisiones sobre la implantación de acuerdos emitidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), denominado Conferencia de las Partes, que se reúne anualmente desde 1995. Dicho órgano emitió el concepto RED a través de "un grupo de científicos que desarrollaron el mecanismo como un enfoque nacional para reducir la deforestación, llamado reducciones compensadas (UN-REDD Program, 2009a). El concepto básico de la propuesta RED (Reducción de Emisiones por Deforestación) es que los países serían compensados por la reducción medible en su tasa de deforestación (comparada con un nivel de referencia nacional histórico de deforestación), donde el país generaría créditos que podría vender en los mercados del carbono si su tasa de deforestación estaba por debajo de la tasa de referencia. Este mecanismo logró despertar el interés de los mercados de carbono, los cuales se dirigieron fundamentalmente hacia las plantaciones comerciales, pues al mismo tiempo que sumaba superficie forestal, capturaba CO_2 en una de las etapas de mayor crecimiento de los árboles.

Sin embargo, pronto fue evidente la necesidad de diseñar un mecanismo más amplio que evitara fugas y que incluyera la posibilidad de estimular procesos de restauración de bosques naturales. En este contexto se promovió REDD, cuyo planteamiento básico es que "aquellos países dispuestos y en posibilidad de reducir emisiones por evitar la deforestación y la degradación de sus bosques, deberían ser compensados financieramente por dichas acciones" (UN-REDD Program, 2009a). Recientemente este concepto se ha ampliado para dar lugar a REDD+, refiriéndose a "las actividades que reducen las emisiones por evitar la deforestación y degradación forestal (REDD) y que contribuyen a la conservación, manejo sostenible de los bosques y mejoramiento de las existencias de carbono forestal que tienen el potencial de generar significativos co-beneficios sociales y ambientales" (UN-REDD Program, 2009a).

Esta última estrategia ofrece una ventana de oportunidad interesante para incidir en las condiciones de los bosques mexicanos, ya que los dueños del bosque y los profesionistas asociados podrían acceder a fondos para proyectos que vinculen la conservación de servicios ambientales con un aprovechamiento ordenado y de largo plazo de los bosques, generando empleos e ingresos locales. Lo relevante de este mecanismo es que ofrece la posibilidad de articular varios aspectos prioritarios para el país, como el desarrollo social y comunitario, diversificación de alternativas para la conservación biológica, de suelos, agua, paisajes y bosques, así como la producción de bienes como madera y otros que generan cadenas productivas regionales (CEIBA, 2010). Sin embargo, para que esto sea operativo será necesario que las acciones de intervención, así como los objetivos y metas, se

establezcan de manera acorde a las condiciones regionales e incluso locales, pues hay llamadas de atención hacia las implicaciones sociales negativas que tendría una falta de participación efectiva y de compromiso de los dueños de las tierras forestales para controlar el cambio de uso del suelo y otras causas de desforestación y deterioro (CEIBA, 2010; CCMSS, 2010).

LA ESTRATEGIA REDD+ EN LAS CONDICIONES REGIONALES Y LOCALES DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

En el diseño de una estrategia estatal para reducir y mitigar los GEI es necesario reconocer la función que tienen los bosques, selvas y plantaciones forestales, donde la composición de especies influye en las tasas de captura y almacenamiento del CO_2. Es por esto que varios autores empiezan a proponer una perspectiva sinérgica donde se reconoce el efecto integral de la biodiversidad con la captura y almacenes de CO_2, así como otros servicios ambientales fundamentales para la sociedad, tales como provisión de agua de calidad, protección de suelos y de cuencas altas o amortiguación de tormentas (Balvanera y Cotler, 2007; Díaz *et al.,* 2009). Es desde esta perspectiva que una estrategia REDD+ debe incluir actividades diversas que incorporen medidas para reducir la deforestación, junto con mejoras a las actividades silvícolas, agrícolas y pecuarias, como contraparte indispensable en las acciones propuestas para los sectores energético, industrial y de protección civil, como se reconoce en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (CICC, 2007).

Diversos estudios indican que a través del manejo forestal sustentable se pueden incrementar las reservas de carbono en los bosques y en los suelos forestales y, paralelamente, reducir las tasas de deterioro (Putz *et al.,* 2008). Acciones dirigidas para lograr estos objetivos permitirían resolver varios asuntos pendientes en el manejo de los bosques de las diferentes regiones de México, particularmente en Veracruz. Entre estos están la incorporación al manejo regulado de las zonas con extracción ilegal, mejorar la calidad del manejo forestal, fomentar la regeneración natural de los bosques con permisos persistentes y el crecimiento de las plantaciones forestales, e impulsar actividades económicas de mayor valor agregado y menor desperdicio para beneficio directo de sus dueños y de las industrias asociadas. Proyectos piloto, como el PECSE[4] en Chiapas, han logrado compaginar medidas de mitigación del CC con el desarrollo de capacidades locales y de oportunidad económica para las comunidades campesinas (Vargas Guillén *et al.,* 2009).

A partir de identificar las condiciones actuales de los bosques en cada región del país se pueden utilizar los indicadores requeridos para una propuesta de monitoreo REDD+ de nivel estatal. Entre los procesos locales a considerar para generar esos indicadores están la tasas de pérdida de la cobertura arbolada y los procesos locales/regionales que inciden en el cambio de uso del suelo, el deterioro y fragmentación de los bosques, la superficie incorporada al manejo regulado versus la que se mantiene bajo extracción irregular, la productividad/hectárea, el uso de madera como energético, la derrama económica regional de estas actividades, el grado de conservación de los bosques, el tipo y valoración de los servicios ambientales que brindan a las sociedades regionales, las características de tenencia de la tierra y organización social y produc-

4 (PECSE) Programa Estatal para la Compensación por Servicios Ecosistémicos. Una propuesta para Chiapas.

tiva en estas regiones forestales. A continuación se presentan algunos elementos de la problemática general de las zonas forestales, enfatizando en ciertos procesos que inciden directamente sobre las condiciones de los bosques.

DEFORESTACIÓN Y DETERIORO EN LAS ZONAS FORESTALES EN MÉXICO

Si bien es conocido el tema de las altas tasas de deforestación del país, las cifras varían dependiendo del periodo analizado y la metodología utilizada (García Barrios *et al.,* 2009; FAO, 2005; Takaki, 2010; Velázquez *et al.,* 2002). Menos conocida y analizada es la cifra sobre la degradación o deterioro de los bosques y selvas, problema igualmente urgente de atender y muy complejo para monitorear, ya que existen diversas causas que pueden pasar desapercibidas. A nivel nacional, Conafor estima que la degradación forestal tiene tasas similares a las registradas para la deforestación; de hecho, INEGI está detectando un incremento mayor en las tasas de degradación de los bosques (Tabla 1), concepto que es equivalente al de "secundarización", utilizado en sus estadísticas.

Es importante considerar que estas cifras no son estáticas, ni van en un solo sentido. Los cambios no se dan únicamente en términos de reducción en la cobertura arbolada, pues hay flujos entre los diferentes usos del suelo, generando procesos de revegetación y deterioro más complejos, algunos de los cuales ya se han empezado a documentar en diferentes regiones de nuestro país y del trópico (Velázquez *et al.,* 2002; Klooster, 2003; Lambin *et al.,* 2003; Muñoz-Villers y López-Blanco, 2007; García Barrios *et al.,* 2009; Bray, 2010). En estos procesos locales y regionales de desforestación-regeneración es clave identificar la dinámica de la vegetación y procesos de regeneración natural y asistida. Particularmente para los bosques mixtos de pino-encino y otros como el bosque mesófilo y los bosques tropicales, identificar los procesos específicos de regeneración en el contexto del cambio climático dará pistas sobre su efecto en la estructura y diversidad de las especies (Villers y Trejo, 2004), pues su capacidad para capturar y almacenar carbono depende de ello (Díaz *et al.,* 2009).

En el diseño de las estrategias para reducir y mitigar GEI, la degradación o deterioro es de interés porque se trata de un proceso generalmente paulatino, pero permanente, en el que los bosques pierden biomasa y con frecuencia se genera un cambio en la composición de las especies dominantes, generalmente hacia aquellas de menor densidad de madera y tamaño. Dentro de esta categoría entran los bosques secundarios o en proceso de regeneración natural, catalogados en los inventarios forestales y en los mapas de vegetación como "vegetación secundaria" (Takaki, 2010).

Tabla 1. Tasas de deterioro de los recursos forestales en México.

	Conafor, 2008	*FAO, 2005*	*INEGI, 2010*
Deforestación (1993-2002)	512 500 ha/año	260 400 ha/año	336 523ha/año
Degradación (1993-2002)	457 700 ha/año		405 155 ha/año

FUENTES: Iglesias *et al.,* 2008; FAO, 2005; Takaki, 2010.

El deterioro forestal en bosques productivos tiene también efectos económicos, pues reduce el valor de los bosques al disminuir el volumen y/o la presencia de especies comerciales. Tiene también efectos ecológicos, pues se modifica la estructura y composición del bosque hacia estadios sucesionales tempranos. En estos casos, el efecto sobre la biomasa arbórea y la capacidad del bosque para capturar y acumular CO_2 (Putz *et al.,* 2008) es un importante indicador para una estrategia REDD+. Este proceso involucra un incremento en volumen, aunque falta información sobre la composición de especies o calidad de esta biomasa. Para estos bosques secundarios es necesario desarrollar estudios sobre su estructura, composición y contenido de carbono, con el fin de valorar su función como sumideros y almacenes de carbono.

En México la estrategia de reforestación impulsada por Conafor, se ha centrado de manera fundamental en la promoción de plantaciones de pino y de algunas especies de rápido crecimiento. Se ha apoyado anualmente la siembra de 199 790 hectáreas, con una inversión anual equivalente a $31 951 831 dólares (OECD, 2003); aunque se ha reconocido que su tasa de sobrevivencia es menor al 50%[5] y que no se tiene registro exacto de la superficie efectivamente sembrada, por lo que no se puede contabilizar en los inventarios forestales. El seguimiento de esta inversión requiere de capacidades locales y procedimientos claros entre las instituciones y grupos académicos con el fin de intercambiar información y optimizar recursos financieros y humanos, pues a pesar de los grandes montos invertidos, hasta el momento no hay registros geográficos, agronómicos y ambientales de dónde, cuánto, quién, qué especies, edades y condiciones de salud tienen las plantaciones y las reforestaciones[6].

En términos de servicios ambientales, las plantaciones y reforestaciones pueden favorecer la restauración pasiva mediante la recolonización de especies nativas de plantas y animales (Sánchez-Velásquez *et al.*, 2009), sin embargo, su aportación como sumideros y almacenes de carbono debe cuantificarse, pues a la fecha solo se cuenta con las estimaciones derivadas de referencias en la literatura, pero faltan datos de su contribución a la mitigación de los gases de efecto invernadero en las condiciones en las que están creciendo.

Los bosques de Veracruz: condiciones de vulnerabilidad frente al cambio climático

CAMBIO DE USO DEL SUELO

Veracruz se enfrenta al fenómeno del cambio climático en situación muy precaria respecto a la condición de sus recursos naturales. En el Plan Sectorial Forestal de Veracruz 2006-2028, se reconocía el deterioro evidente en la calidad de los recursos naturales del estado: salinización en las zonas bajas cercanas a la costa, compactación de suelos en potreros ganaderos con la consecuente baja productividad, los suelos deteriorados por erosión, pérdida de fertilidad y contaminación por excesivo uso de agroquímicos (Sedarpa, 2006).

En las últimas cinco décadas el estado perdió la mayor parte de sus bosques, selvas y vegetación de zonas

5 El Plan Sectorial Forestal de Veracruz registró una sobrevivencia entre 12 y 29% en las reforestaciones (Sedarpa, 2006).

6 Para Conafor, plantación y reforestación están ubicados en distintos rubros de apoyo y se les considera con objetivos diferentes.

Tabla 2. Cambios en la cobertura del uso del suelo en Veracruz (1994-2000).

Tipo de cobertura del suelo	*1994 (%)*	*2000 (%)*	*Tasa de cambio*	*Tendencia*
Agricultura	31	28	- 3%	â
Bosques y selvas (inundables y semiáridas)	19	18	- 1%	â
Otros usos	16	7	- 9%	ê
Ganadería	34	47	+ 13%	é
Total	100	100		

Fuentes: Sedarpa, 2006, con datos de SARH, 1994 y del Inventario Nacional Forestal (INF), INEGI, 2001.

inundables y, por tanto, de su diversidad biológica. El Inventario Nacional Forestal (INF) del 2000 estimaba que 75% de la superficie del estado estaba dominada por pastizales ganaderos y por la agricultura y 25% mantenía la cubierta forestal con distintos grados de deterioro. Esta última conformada por 312 625 has de bosques templados y 975 948 ha de selvas (Sedarpa, 2006)[7].

De acuerdo con lo registrado en el Plan Sectorial Forestal de Veracruz (Sedarpa, 2006), las tendencias de cambio de uso del suelo en el estado seguían activas. En la tabla 2, la última columna muestra con flechas gruesas las tasas de cambio altas, mientras que las flechas delgadas se refieren a tasas menores. Los inventarios forestales nacionales de 1994 y 2000 revelaban para Veracruz tres situaciones particulares: *a)* La mayor actividad de cambio de uso del suelo se ubicaba en las selvas secas, matorrales semiáridos, manglares y las áreas inundables, con una pérdida de 9% en dicho periodo, fundamentalmente debido a la creación de distritos de riego, expansión urbana, ampliación de zonas industriales y minería a cielo abierto. *b)* En la década de 1990-2000, los bosques y selvas húmedas aminoraron su tendencia decreciente, con una pérdida de 1%; lo anterior puede explicarse porque la mayor parte de las tierras aptas para cultivo y ganadería ya estaban ocupadas, y además porque fenómenos sociales y económicos como la emigración rural y el bajo valor de los productos agrícolas de temporal, habían generado el abandono de tierras agropecuarias con la consecuente recuperación de áreas forestales en la forma de acahuales. *c)* La expansión de la ganadería seguía activa, se incrementó 13% en el periodo que se reporta, principalmente a costa de la superficie agrícola, cuya ampliación se vio aminorada en este periodo.

Las plantaciones forestales, tanto de especies templadas como tropicales, se han sembrado principalmente en zonas ocupadas por pastizales ganaderos, algunas parcelas agrícolas y, en menor escala, en áreas forestales deterioradas, tanto en el norte, centro y sur, como en la

7 Al escribir este documento no se había hecho público el Inventario Forestal de Veracruz 2010, los comentarios indican que se registraba una fuerte reducción en la cobertura forestal del estado.

zona montañosa del estado (Sedarpa, 2006). Recientemente se están promoviendo las plantaciones para biodiesel a partir de cultivos anuales, aunque se ha generado polémica sobre su efectividad como medida para reducir los GEI, dado que en otros países se registran "fugas[8]" para mudar el uso ganadero y agrícola hacia otras tierras, por lo que es necesario establecer un monitoreo puntual para evitarlas. Lo mismo aplica para las plantaciones forestales comerciales establecidas en Veracruz; no se puede confirmar aún si se está promoviendo un incremento en el área forestal neta, o si existen "fugas" sin detectar.

En los diversos registros de la cobertura forestal no se ha detectado la superficie sembrada con plantaciones forestales, si bien estas se iniciaron en la década de 1990 y su extensión se ha incrementando de forma notable a partir de 2001. Se tiene el registro de que entre 1997 y 2005 se apoyó el establecimiento de 49 435 has en plantaciones forestales; la tabla 3 muestra las superficies hasta 2005 (Sedarpa, 2006). Estas cifras, sin embargo, requieren precisarse y actualizarse pues estudios recientes han encontrado que la densidad de siembra y la sobrevivencia de la reforestación y plantaciones no coincide con los registros oficiales (Paré *et al.,* 2011).

8 En el contexto de los proyectos para captura de carbono, por fuga se entiende "el cambio neto de las emisiones antropogénicas por las fuentes de gases de efecto invernadero que se producen fuera del ámbito del proyecto y que es mensurable y se puede atribuir a la actividad del proyecto, por ejemplo: desplazamiento de actividades agrícolas que provoquen cambios de uso de suelo o reducción de las existencias de biomasa fuera del área o ámbito del proyecto. El ámbito del proyecto abarca todas las emisiones antropogénicas por las fuentes de gases de efecto invernadero que están bajo el control de los participantes en el proyecto y son significativas y se pueden atribuir razonablemente a la actividad del proyecto".

PROCESOS DE DETERIORO FORESTAL

La cubierta forestal en el estado se caracteriza por estar sumamente fragmentada, excepto en algunas regiones donde los macizos forestales cubren superficies extensas y continuas (Tabla 3), entre estas se cuentan la Sierra de Zongolica y Pico de Orizaba, Uxpanapa, Huayacocotla, Cofre de Perote y Las Choapas. Otras zonas con presencia importante de fragmentos de bosques y selvas son la Sierra de Chiconquiaco y de Misantla, Sierra de Otontepec y Los Tuxtlas.

Los procesos que mantienen a los bosques y selvas en Veracruz en diversos grados de deterioro son: *1)* extracción ilegal de madera de manera fundamental dirigida a la industria de la construcción (cimbra), al uso como combustible doméstico y comercial (leña y carbón), así como a la elaboración de muebles con bajo valor agregado y transformación con maquinaria poco eficiente; *2)* manejo forestal simulado, eminentemente extractivo, que solo en casos excepcionales promueve un incremento en la existencia de volumen y en la productividad por hectárea; *3)* escasa capacitación de los dueños de bosques, selvas y plantaciones forestales para llevar a cabo un buen manejo de su biomasa; *4)* pastoreo libre y extensivo dentro de las áreas forestales; *5)* extracción hormiga de productos forestales no maderables; *6)* conversión a otros usos del suelo por crecimiento urbano e industrial.

Este panorama es el resultado directo de las políticas de desarrollo económico impulsadas en Veracruz durante décadas, dirigidas a promover la actividad agrícola y ganadera de forma preponderante (Skerritt, 1993). El efecto indirecto fue la desvalorización del recurso forestal, pues los bosques y selvas no se incorporaron como zonas

Tabla 3. Cobertura forestal en las Unidades Regionales de Manejo Forestal del estado.

Unidad Regional de Manejo Forestal	*Sup. total* UMAFOR[2] *(ha)*	*Núm. municipios*	*Cobertura forestal*[1] *2001 (ha)*	*Sup. reforest. y plantación*[2] *(ha)*
P. Orizaba / S. Zongolica	458 841	50	229 875	36 061
Uxpanapa	437 894	3	182 507	10 980
Huayacocotla	249 450	8	93 519	2 873
Cofre de Perote	270 354	19	101 627	25 637
Las Choapas	700 632	9	251 676	19 856
Veracruz	588 200	22	125 653	11 581
S. Misantla / Chiconquiaco	431 460	20	65 372	16 143
Los Tuxtlas	496 645	11	61 227	18 376
Sierra de Otontepec	772 601	18	101 329	12 878
Rodríguez Clara	800 478	14	87 974	15 143
Pánuco	778 323	6	84 528	3 054
Papantla	454 834	16	155 556	8 335
Cuenca del Papaloapan	632 969	14	53 951	4 973
Total	7 072 681	210	1 454 800	185 890

FUENTES: / 1INEGI, 2001. Incluye bosques templados, selvas secas y húmedas, vegetación inundable y manglar. / 2 Sedarpa, 2006. Datos hasta 2005, suma de ambos rubros.

productivas a la economía regional, pero se generó una cultura de la extracción ilegal o de la sustitución de estos por otros usos del suelo.

A estos procesos de deterioro se suman sus efectos sobre las condiciones socioeconómicas y productivas de los dueños de los bosques. Estas condiciones son parte del entorno en el cual se deberán identificar e impulsar las acciones propuestas dentro de cualquier estrategia REDD+, y particularmente en la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático de Veracruz.

SOBRE LA TENENCIA DE LA TIERRA Y EL TAMAÑO DE LOS PREDIOS: UN MOSAICO FRAGMENTADO

La tenencia de la tierra en el campo veracruzano, incluyendo sus zonas forestales, le imprimen características particulares que deben considerarse para que las acciones de reducción y mitigación de los GEI tengan el efecto esperado y cuenten con la aceptación y compromiso de sus dueños.

El régimen de tenencia de la tierra difiere de la media nacional y de lo que se registra para otros estados. En Veracruz

predominan las pequeñas propiedades, abarcan 51% del territorio estatal, los ejidos y comunidades cubren 42%, y únicamente 7% son tierras públicas estatales o federales (Sedarpa, 2006). Otra característica que imprime condiciones específicas es que 70% de los ejidos son predios con dimensiones pequeñas (Tabla 4).

Más de la mitad (68%) de los ejidos tienen una superficie menor a 500 ha y solo 2% tienen superficies mayores a 2500 ha (Tabla 4). Si bien esta información se restringe a los núcleos agrarios (ejidos, colonias agrícolas y comunidades agrarias), pues no hay datos disponibles sobre las dimensiones de las pequeñas propiedades, el panorama en estas es semejante, pues en regiones forestales como la Sierra de Zongolica predominan las pequeñas propiedades minifundistas (INEGI, 2007).

En las 2,75 millones de hectáreas del estado con régimen de propiedad ejidal y comunitaria, el pequeño tamaño de los núcleos agrarios es solo una parte de la ecuación; se reporta que 90% se encuentra parcelada internamente (INEGI, 2006) incluyendo bosques y selvas, a pesar de que la Ley Agraria y Forestal lo prohíben (Tabla 5). En términos de acuerdos para lograr compromisos de los dueños sobre las condiciones de manejo del bosque, este carácter de minifundismo significa que una multiplicidad de actores sociales individuales deben incorporarse en los procesos de diseño de una estrategia, de planeación de metas y de mecanismos para el Monitoreo, Registro y Verificación (MRV: UN-REDD, 2009b).

Tabla 4.Tamaño de los ejidos y comunidades agrarias en Veracruz.

Tamaño – hectárea	*Núm. polígonos ejidos y comunidades*	*%*
< 500	3786	68
500 <1000	1072	19
1000 < 1500	398	7
1500 < 2500	208	4
2500 < 3500	50	1
3500 > 4000	57	1
Total - Veracruz	5571	100

Fuente: INEGI, 2006.

Tabla 5. Características de los núcleos agrarios de Veracruz.

Superficie agraria parcelada (ha)	2 480 007,176
Superficie agraria en uso común (ha)	202 022,087
Asentamientos humanos (ha)	68 423,062
Total (ha)	2 750 452,325

Fuente: INEGI, 2006.

SOBRE LAS ÁREAS BAJO MANEJO FORESTAL

En número de permisos de aprovechamiento expedidos en Veracruz, cerca de 80% corresponden a autorizaciones únicas para cortar árboles en las zonas agropecuarias, el volumen autorizado por este concepto corresponde a 20% del total estatal. Por otra parte, 10% de los permisos persistentes autorizados en bosques (que abarcan un periodo entre 5 a 10 años) cubren 76% de la superficie total registrada con manejo forestal en el estado; en esta superficie se extrae 62% del volumen producido en el estado (Sedarpa, 2006). Es difícil conocer con exactitud la superficie total bajo aprovechamiento regular y persistente, puesto que el formato con el que se registran estos datos en Semarnat se presta a duplicar estas cifras, pero se estima que hay 69 624,98 has (Tabla 6).

La información disponible permite identificar una tipología de las áreas que tienen permisos con aprovechamiento persistente de bosques naturales, selvas y plantaciones. Los registros disponibles (Sedarpa, 2006) muestran que 84% de estos permisos persistentes se expiden a predios pequeños con superficies igual o menores a 50 ha; 12% son predios entre 51 ha y 300 ha; y el 4% restante lo tienen predios mayores a 300 ha. Respecto a la superficie total sembrada con plantaciones comerciales y con reforestación, la tabla 3 presenta estos datos hasta 2005, agregados por UMAFOR. Se destaca que para ese año Veracruz tenía reportadas un acumulado de 185 000 890 hectáreas sembradas bajo estos rubros. Una proporción de esta superficie corresponde a fracciones de tierra que se encuentran dentro de las áreas bajo manejo forestal persistente, por lo que no se trata de áreas recuperadas en sentido estricto; una cierta proporción correspondería a tierras ganaderas o agrícolas abandonadas que han sido destinadas a la producción forestal, a mediano plazo, aunque la información disponible no permite estimar su magnitud.

Estas cifras indican nuevamente que se requieren políticas específicas para un sector dominado por pequeños predios forestales y, en particular, se requieren acciones para mitigar o reducir los GEI, diseñadas a partir de esta característica. Las propuestas para mejorar las prácticas de manejo y para capacitar a los dueños en medidas de manejo sustentables, deben dirigirse a este tipo de beneficiarios. Por otra parte, las inundaciones de los últimos años, así como los escenarios de sequía para ciertas regiones del estado, son un llamado de atención para verificar la situación de estas plantaciones, puesto que en algunos casos será necesario modificar las especies que se han recomendado hasta ahora.

SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y LA CALIDAD DEL MANEJO FORESTAL

El estado presenta condiciones ambientales excepcionalmente diversas, considerando el amplio rango altitudinal que cubre, desde el nivel del mar hasta los 5000 msnm; latitudinalmente abarca un rango de poco más de grados N; topográficamente está conformado por amplias planicies inundables, laderas suaves y abruptas, barrancas, sierras y montañas de diversos orígenes geológicos; a lo largo de su territorio hay zonas con marcada estacionalidad en las lluvias, mientras que otras presentan lluvias durante todo el año. Estas son las características del medio físico que determinan la productividad y composición de los bosques y selvas del estado; sin embargo, las condiciones actuales, en términos de biomasa/hectárea y de estructura, son resultado directo del tipo de intervenciones que se han llevado a cabo.

Tabla 6. Indicadores generales de la producción forestal de Veracruz (1993-2008).

Superficie total en producción forestal	69 624 ha
Volumen total producido	2 213 725 m^{3}rta
Volumen promedio producido por hectárea	31,79 m^3/ha/año
Núm. total de predios con manejo persistente	1371

FUENTE: Base de datos prediales, Sedarpa, 2006.

A través de un manejo forestal de largo plazo se pueden incrementar las reservas de carbono en los bosques (incluyendo los suelos forestales) y, paralelamente, reducir las tasas de deterioro (Putz *et al.,* 2008). Acciones dirigidas para lograr estos objetivos permitirían resolver algunos asuntos pendientes en el manejo de los bosques de Veracruz, entre ellos están incorporar a las zonas con extracción ilegal en esquemas regulares, monitorear la calidad del manejo en los bosques y en las plantaciones forestales con permisos persistentes, e impulsar actividades económicas de mayor valor agregado y eficiencia, para beneficio directo de sus dueños y de la economía regional. La actividad forestal regulada funciona con reglas y procedimientos establecidos, conocidos y aceptados por los dueños de los predios con manejo. Algunos de estos procedimientos podrían ser útiles para el establecimiento de una línea de base en proyectos para reducir y mitigar los GEI, e iniciar el monitoreo para detectar tanto los efectos del cambio climático sobre la productividad de los bosques, selvas y plantaciones, así como para supervisar los resultados de una estrategia REDD+ en las condiciones de Veracruz y en los términos requeridos por los procedimientos MRV (UN-REDD, 2009b).

Algunos indicadores útiles para identificar y establecer una línea base forman parte de los datos contenidos en las bases de datos de todos los predios con permiso forestal; aunque es necesario hacer una verificación fina para identificar la precisión y rigor requeridos. Para elaborar una línea base estatal y detectar cambios en el volumen producido y en la productividad por hectárea, ya sea por efecto del cambio climático, o como resultado de medidas impulsadas para promover una mayor biomasa a través de REDD+, será necesario desagregar datos como los presentados en la tabla 6, por zona climática, región forestal y grupos de especies. Esto permitiría establecer indicadores y parámetros precisos que permitan llevar a cabo el monitoreo de las tendencias a corto, mediano y largo plazo.

SOBRE EL USO DE LA MADERA COMO ENERGÉTICO

El uso de leña y carbón, además de ser un producto común, es parte intrínseca del bienestar familiar en el campo para cocinar alimentos, bañarse y calentar la casa en las zonas frías. Por ello, en las estrategias para impulsar sustitutos para los materiales combustibles de altas emisiones de GEI, es importante reconocer que la producción de madera para leña y carbón en forma sustentable podría ayudar a mantener un equilibrio en esas emisiones. Medidas de este tipo

Tabla 7. Clasificación de municipios de acuerdo con su prioridad, por déficit en la relación oferta-demanda de leña.

Prioridad	*Núm. de municipios (nacional)*	*Núm. de municipios Veracruz*	*Porcentaje del nacional*
Alta	262	60	22,9
Medio-alta	389	57	14,6
Media	461	45	9,7

FUENTE: Masera *et al.*, 2003.

incrementarían la capacidad de los bosques y suelos forestales para ajustarse al cambio climático y generarían actividades económicas que pueden mejorar las condiciones de vida de los habitantes en las zonas rurales más necesitadas (The Forests Dialogue, 2008).

Masera *et al.* (2003) analizaron la oferta y demanda de leña y carbón a nivel municipal en todo el país, identificando las áreas prioritarias donde es necesario impulsar acciones debido a la presión que existe sobre los bosques. En su trabajo identifican 162 municipios (80%) del estado de Veracruz que se encuentran dentro de los niveles críticos deficitarios de materia prima para leña y carbón, productos que sus usuarios obtienen de las áreas forestales en sus regiones (Tabla 7).

En ciertas localidades se están realizando estudios detallados para cuantificar la cantidad de leña y carbón que proviene de bosques bajo aprovechamiento regulado. Es necesario ampliar estos estudios para determinar las cantidades, las temporadas y las especies preferentemente utilizadas, así como sus tasas de crecimiento, para incorporarlas en plantaciones dendroenergéticas. A partir de observaciones locales se ha detectado que la mayor parte de la leña y carbón se extrae de forma constante, pero a baja intensidad, causando cambios en la composición de especies y en la biomasa de esos bosques (Haeckel, 2006). Este es uno de los componentes con mayor influencia sobre el lento deterioro de los bosques, pues reduce su productividad en el largo plazo, aunque eso no está suficientemente documentado.

Los altos precios del gas doméstico y el bajo ingreso de las familias, tanto en las zonas rurales como en las suburbanas de las principales ciudades del estado, indican que esta tendencia va a permanecer. Por ello, es necesario promover, de manera paralela, proyectos que impulsen estufas ahorradoras de leña y plantaciones dendroenergéticas, así como monitorear los efectos de este uso sobre la biomasa de los bosques.

SOBRE LA IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA ACTIVIDAD FORESTAL

En términos económicos la actividad forestal primaria en el estado, que incluye el aprovechamiento, reforestación, establecimiento de plantaciones y producción de no maderables, durante el periodo

1996-2005, generó una derrama económica local y regional estimada en 202,6 millones de pesos anuales (Sedarpa, 2006). En este periodo el sector forestal presentaba una escasa integración vertical, situación que ha ido modificándose positivamente en los últimos años. La capacidad de transformación y agregación de valor económico es un elemento fundamental para cuantificar los almacenes de carbono a lo largo de la cadena productiva.

La información sobre la actividad industrial del sector, en relación con la transformación de la madera, es confusa, incompleta, desactualizada y se encuentra dispersa, por lo que es necesario impulsar estos censos para estimar la eficiencia de los procesos de transformación, su aportación económica y generadora de empleos, e impulsar medidas para reducir desperdicios, incrementar la eficiencia en la transformación del recurso y dar mayor valor agregado a los productos.

LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE VERACRUZ Y SU SUSCEPTIBILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

El concepto de conservación ha tenido que evolucionar para conjugar dos objetivos que aun generan polémica: la conservación del patrimonio natural y la disminución de la pobreza en los habitantes de las Áreas Naturales Protegidas (ANP). Existen diversos criterios sobre lo que se debe conservar y dónde, criterios que también se han modificado con el transcurso del tiempo, prueba de ello son los cambios en la conceptualización de los objetos de conservación, inicialmente dirigidos hacia especies particulares y paisajes excepcionales, incorporando después ciertos hábitats, ecosistemas específicos, e incluso prácticas de uso tradicional milenarias y más recientemente los servicios ecosistémicos. En este contexto se reconoce ahora la función de las áreas naturales protegidas como un instrumento más para la mitigación del cambio climático (Bezauri-Creel, 2009).

Desde su inició el Programa del Hombre y la Biosfera (MAB) de UNESCO, reconoció la necesidad de incorporar a los habitantes de estas zonas, ya que son actores activos en la conservación de dichos recursos. En los últimos 10 años han aparecido otro tipo de áreas de protección, menos institucionales pero más ajustadas a los objetivos de los pobladores, estas son las áreas comunitarias de protección y las áreas privadas de conservación. Boege (2009) indica que 15,2 millones hectáreas de los bosques y selvas se encuentran en los territorios de diferentes etnias indígenas, lo que significa que casi una cuarta parte de estos (23%) son su responsabilidad. Hasta ahora, sin embargo, la concepción de conservación que se aplica representa una camisa de fuerza que impide a los pobladores involucrarse en esquemas de manejo sustentable de sus bosques, y por tanto ejercer acciones de conservación activa (Paré y Fuentes, 2007).

Actualmente Veracruz cuenta con 48 Áreas Naturales Protegidas, abarcando una superficie total de 880 mil 894 ha. En términos del régimen de protección, 15 fueron decretadas por el gobierno federal, representando 95% del total de la superficie bajo protección en el estado; 19 áreas tienen un decreto del gobierno estatal protegiendo 5% del total de la superficie bajo protección y 14 áreas privadas protegen una superficie correspondiente a 1% del total estatal (Tabla 8).

Tabla 8. Áreas Naturales Protegidas del estado de Veracruz.

	Total estatal	*Régimen federal*	*Régimen estatal*	*Áreas privadas*
Superficie (ha)	880 894	835 612	37 617	7 665
% del total	100	95%	4%	1%
Núm. áreas	48	15	19	14

FUENTE: CEMA, 2005; Conabio, 2009.

Aproximadamente 30% de la superficie protegida del estado corresponde a bosques templado-fríos; 8% a distintas asociaciones de bosque mesófilo; los manglares y vegetación de dunas costeras, incluyendo los arrecifes, están representados en el 8% protegido del estado; 24% contiene diversos tipos de selvas tropicales y 30% de estas áreas presenta condiciones de deterioro grave e irreversible pues predominan zonas urbanas e industriales. Considerando que el Inventario Nacional Forestal (INEGI, 2001) estimó que Veracruz tiene 1 288 573 ha de bosques y selvas, una proporción nada desdeñable (42%) de la superficie boscosa del estado se encuentra dentro de alguna categoría de protección. Esto representa una oportunidad para conservar el patrimonio natural del estado y para contribuir a mejorar la calidad de vida de quienes en ellas habitan.

Las áreas protegidas pueden tener una función importante para monitorear los efectos del calentamiento global, dado que las modificaciones en la temperatura y la precipitación generarán cambios en la composición de especies y en su crecimiento (Villers y Trejo, 1998). En este contexto, conocer la composición de las especies y condiciones de los bosques, permitirá desarrollar líneas base para analizar el impacto de los diferentes escenarios de cambio climático e identificar los grupos de especies que podrían desplazar a otros tipos de vegetación (Díaz y Cabido, 1997; Lavorel y Garnier, 2002; Pineda *et al.,* 2008).

Varios estudios han documentado que no hay diferencias significativas en las condiciones de bosques dentro de un ANP y en los bosques bajo aprovechamiento regulado y vigilados por reglas definidas por las propias comunidades (Hayes, 2006; Ellis y Porter-Bolland, 2008; Bray *et al.,* 2007; Porter-Bolland *et al.,* 2011). Es por ello imprescindible revisar a fondo el marco regulatorio que sustenta el manejo del SINANP, con la finalidad de incorporar medidas que promuevan la compatibilidad entre la conservación de nuestro patrimonio natural y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

UNA ESTRATEGIA PARA EL MONITOREO DE LOS BOSQUES Y PLANTACIONES FORESTALES

En noviembre de 2008 Semarnat inició la operación del Sistema Nacional de Gestión Forestal (SNGF) en todo el país. Se trata de un esfuerzo por integrar en una base única los datos productivos básicos de cada predio que cuenta con permiso de aprovechamiento forestal. La creación de este SNGF permite suponer que en los próximos años se habrá generado una base de datos de nivel predial lo

suficientemente detallada como para permitir meta-análisis sobre el comportamiento de la producción y productividad por hectárea, por especie y por región.

Lo cierto es que la información forestal disponible en la actualidad contiene tal divergencia en los datos registrados que no es posible determinar con precisión cuáles son las existencias en biomasa, la productividad de los bosques y la de las plantaciones forestales. Tanto los programas de manejo autorizados, como las propuestas económicas incluidas en los proyectos de plantaciones forestales, se elaboran con base en ciertos supuestos productivos que requieren ser verificados en campo. Más aún, cuando algunos de estos predios llevan más de 15 años con manejo forestal de forma ininterrumpida.

En el proceso de elaborar estas líneas base, los datos contenidos en los programas de manejo son un primer punto de referencia para el análisis de las condiciones locales y de su posible comportamiento con proyectos REDD+. Al revisar las estimaciones silvícolas iniciales se podrán identificar los ajustes necesarios, de acuerdo con las respuestas y condiciones de los bosques para fundamentar los valores de adicionalidad esperados. En algunas regiones se prevé que se mantendrá la cubierta arbolada, con modificación en la composición de las especies que hoy dominan (Benítez Badillo *et al.,* 2008). Las plantaciones forestales y bosques bajo manejo, además de un incremento en la presencia de plagas y enfermedades (Pineda López *et al.,* 2008), presentarán cambios en su crecimiento, alterando los resultados planteados en las propuestas técnicas productivas y económicas que originalmente las sustentaron. Ante estos posibles efectos, las políticas forestales en el contexto de una estrategia REDD+, deben prever el tipo de acciones que permitirían hacer los ajustes necesarios para mantener la productividad y la generación de ingresos para los dueños de los bosques.

VINCULACIÓN ENTRE SECTORES: BASE PARA UNA ESTRATEGIA REDD+ EN VERACRUZ

La vulnerabilidad del sector forestal de Veracruz ante el cambio climático está directamente relacionada con los escenarios elaborados (PVCC, 2008): sequías en el norte e inundaciones en el sur, donde se han establecido miles de hectáreas de plantaciones forestales; migración de las nubes en las montañas, afectando los regímenes de lluvias y por tanto el crecimiento de estas masas forestales, con un consecuente efecto en la biomasa y productividad por hectárea. Todo cambio en temperatura y cantidad de humedad conlleva un cambio en la composición de especies.

Un esquema de monitoreo conjunto entre el sector forestal, las ANP, sus habitantes y las instituciones académicas, en el contexto de una estrategia REDD+, permitiría tener acceso a fondos conjuntos para establecer una red estatal con predios ubicados en un transecto altitudinal y climático único en el país: desde el nivel del mar hasta los 5000 msnm. Avances en este sentido están siendo promovidos por el Programa Mexicano del Carbono para desarrollar una base científica sólida vinculada con los sectores gubernamentales involucrados en la cuantificación de emisiones y desarrollo de políticas públicas (PMC, 2011).

CONCLUSIONES

En el ámbito de las políticas públicas estatales en marcha, donde se incluyen los proyectos estratégicos señalados en el Plan Sectorial Forestal del estado, los

ejes establecidos en el Programa Veracruzano ante el Cambio Climático, y las directrices indicadas en la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático[9], se reconocen elementos para impulsar una Estrategia Estatal REDD+ hecha a la medida del estado para impulsar mejoras en el sector forestal y en las condiciones de sus bosques y de la calidad de vida de sus habitantes.

Una estrategia estatal permite definir las acciones concretas que deben impulsarse para determinadas zonas prioritarias, atender de forma específica las zonas con mayor potencial productivo y aquellas donde es urgente propiciar la recuperación de bosques deteriorados, e incluso incorporar mejoras en las prácticas ganaderas para fomentar una actividad productiva de bajas emisiones. De forma paralela, se pueden generar vínculos y coordinar la creación de una red estatal de monitoreo, verificación y registro que mantenga un seguimiento cercano con los dueños de los predios comprometidos con estas medidas. A través de aliados locales se puede operar con menor costo un programa de este tipo, enfatizando en el desarrollo de recursos humanos y de capacidades para analizar las situaciones específicas de cada región y para establecer compromisos factibles y verificables. Impulsar este tipo de colaboración facilitaría la coordinación con los esfuerzos de nivel nacional en marcha y, posteriormente, con la red global que está en desarrollo.

REFERENCIAS

Balvanera, P., y H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos, Gaceta Ecológica (Jul.-Dic.) 84:8-15.

9 Ley 878, Artículos 7, 11, 15, 23, 27 y 29. Gobierno del Estado de Veracruz.

Benítez Badillo, G., A. Hernández, M. Equihua, A. Medina, J.L. Álvarez, S. Ibáñez y C. Delfín. 2008. Biodiversidad y cambio climático. Contribución al Programa Veracruzano ante el Cambio Climático, Xalapa, Ver., 56 p.

Bezaury-Creel J.E. 2009. El valor de los bienes y servicios que las Áreas Naturales Protegidas proveen a los mexicanos. The Nature Conservancy Programa México-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. The Nature Conservancy-Programa, México, 36 p.

Bray, E.D., M.E. Durán, P.L. Merino, R.S. Torres y M.A. Velázquez. 2007. Nueva evidencia: los bosques comunitarios de México protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y promueven la paz social. Informe de Investigaciones. UNAM. Centro de Investigación y Docencia Económica, IPN, Universidad Internacional de Florida, Consejo Civil Mexicano para la Agricultura Sostenible. Offset Santiago Editores, México, 90 p.

Bray, D.B. 2010. Forest cover dynamics and forest transitions in Mexico and Central America: Towards a “Great Restoration”? In: Nagendra, H. y J. Southworth eds. Reforesting Landscapes. Linking Pattern and Process, Springer, Países Bajos, p: 85-120.

Boege, E. 2009. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas. INAH, Conabio, México, p: 231-237.

CCMSS. 2010. El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático:lLas comunidades nos muestran el camino. CCMSS,

Iniciativa para los Derechos y Recursos, México, 21 p.

CEIBA. 2010. Aplicación de mecanismos de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD) en ejidos y comunidades. Elaborado por: Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. Reporte a USAID/México Competitiveness Program, Contract EEM-I-00-07-00004-00. México, D.F. 20 Jul., 2010, 49 p.

CEMA. 2005. Áreas Naturales Protegidas del estado de Veracruz. Coordinación Estatal de Medio Ambiente. Gobierno del Estado. Manuscrito inédito. Xalapa, Ver., 7 p.

CICC. 2007. Hacia una estrategia nacional de acción climática. Síntesis ejecutiva. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Semarnat, México, 50 p.

CONABIO. 2009. Áreas Naturales Protegidas. www.conabio.gob.mx, 15 de marzo 2009.

De Jong, B.H.J., O. Masera, T. Hernández-Tejeda. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. *In*: J. Martínez y A. Fernández (comp.). Cambio climático: una visión desde México. INE-Semarnat, p: 369-380.

De Jong, B.H.J. y M. Olguín. 2008. 2° Informe de resultados de los trabajos relativos a la estrategia REDD-México. ECOSUR, Conafor. 22 p. http://reddmexico.org

Díaz, S. y M. Cabido. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. Journal of Vegetation Science 8(4):463-474.

Díaz, S., A. Héctor y D.A. Wardle. 2009. Biodiversity in forest carbon sequestration initiatives: not just a side benefit. Curr. Op. in Environmental Sustainability 1:55-60.

Ellis, E. y L. Porter-Bolland. 2008. Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, México, Forest Ecology and Management 256:1971-1983.

FAO, 2005. Situación de los bosques en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 153 p.

García Barrios, L., Y.M.Galván Miyoshi, I.A. Valdivieso-Pérres, O.R. Masera, G. Bocco y J. Vandermeer. 2009. Neotropical forest conservation, agricultural intensification, and rural outmigration: the Mexican Experience. BioScience 59:863-873.

Hayes, T.M. 2006. Parks, people, and forest protection: an institutional assessment of the effectiveness of Protected Areas. World Development 34(12):2064-2075.

Haeckel, I. 2006. Firewood use, supply, and harvesting impact in cloud forests of central Veracruz, Mexico. Bachelor Thesis. Center for Environmental Research and Conservation, and Earth Institute. Universidad de Columbia, 60 p.

Iglesias G., L., B.H.J. de Jong y J.A. Alanis-de la Rosa. 2008. Incorporating lessons learned from Community Forestry and Payment for Environmental Services Programs in

Mexico´s REDD strategy. Anexo 4. Conafor, México.

INEGI, 2001. Mapa de Vegetación Nacional. Serie 1. Escala 1:1millón. Aguascalientes, México.

INEGI, 2006. Núcleos Agrarios. Tabulados básicos por municipio, PROCEDE 1992-2006. Veracruz. 218 p. www.inegi.gob.mx. Consultado en junio, 2006.

INEGI, 2007. Censo Agrícola Ganadero y Forestal. http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.asp, documento consultado 28 junio del 2011.

IPCC, 2007. Climate Change: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 52 p.

Klooster, D. 2003. Forest transitions in Mexico: institutions and forests in a globalized countryside. Prof Geogr 55(2):227-237.

Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. *In*: J. Martínez y A. Fernández (comps.). Cambio Climático: una visión desde México. INE-Semarnat, p: 77-85.

Lambin, E., H.J. Geist y E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Ann. Rev. Environ. Resour. 28:205-241.

Lavorel, S. y E. Garnier. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. Functional Ecology 16:545-556.

Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático. XV Legislatura del Congreso del Estado de Veracruz. 3 Nov. 2010. Ley núm. 878.

Masera, O.R., G. Guerrero, A. Ghilardi, A. Velázquez, J.F. Mas, M.J. Ordóñez, R. Drigo y M.A. Trossero. 2003. Fuel wood ´Hot Spots´ in Mexico. A case study using WISDOM. FAO-UNAM.

Muñoz-Villers, L.E. y J. López-Blanco. 2007. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. International Journal of Remote Sensing 29(1):71-93.

OECD, 2003. Evaluación del desempeño ambiental: México. OECD, México, 287 p.

Paré, L. y T. Fuentes. 2007. Gobernanza ambiental y políticas públicas en Áreas Naturales Protegidas: lecciones desde Los Tuxtlas. Cuadernos de Investigación núm. 38. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, México, 263 p.

Paré, L., P. Gerez, T. Fuentes y M.A. Muñiz-Castro. 2011. Los programas de reforestación y pago por servicios ambientales de Conafor: reflexiones a partir de una experiencia de co-gestión de cuenca en el centro de Veracruz. Memorias del 7° Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales (AMER).

Programa Mexicano del Carbono (PMC). 2011. Relatoria del seminario Hacia una estrategia REDD++: integración de políticas forestales y agropecuarias. UAEM. 5 p. (http://pmcarbono.org/base/ index.php); http://cambio_climatico. ine.gob.mx/pmc/espanol/

estructura.html. Consultado el 20 de junio de 2010.

Pineda-López, M.R., L.R. Sánchez-Velázquez, J.C. Noa-Carrazana, N. Flores-Estevez, F. Días-Fleischer, L. Iglesias-Andreu, G. Ortiz-Ceballos, G. Vázquez-Domínguez y S.G. Vázquez-Morales. 2008. Adaptación de la biodiversidad y cambio climático. Aportación al Programa Veracruzano ante el Cambio Climático. Xalapa, Ver., 57 p.

Porter-Bolland, L., E.A. Ellis, M.R. Guariguata, I. Ruiz-Mallén, S. Negrete-Yankelevich y V. Reyes-García. 2011. Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. For. Ecol. Manage. 2011 (en prensa).

Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC). 2008. A. Tejeda, M.E. Guadarrama, C.A. Ochoa, A. Medina, M.E. Equihua, A. Cejudo, C.M. Welsh, S. Salazar, L.A. Gutiérrez, E. López, T. García y M. Marín (comps.). Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología, Embajada Británica, UNAM, Inecol, 169 p.

Putz, F., P. Zuidema, M. Pinard, R. Boot, J. Sayer, D. Sheil, P. Sist y J. Vanclay. 2008. Improved tropical forest management for carbon retention. PLoS Biology, doi:10.1371/Journal.pbio.0060166

Rosa, H., S. Kandel y L. Dimas. 2004. Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales: lecciones de las américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias. INE, Semarnat, PRISMA, CCMSS. México, 124 p.

Sánchez-Velásquez, L.R., M.R. Pineda-López, J. Galindo-González, F. Díaz-Fleischer y J.L. Zúñiga-González. 2009. Opportunity for the study of critical successional processes for the restoration and conservation of mountain forest: the case of mexican pine plantations. Interciencia 34(7):518-522.

Sedarpa, 2006. Plan Sectorial Forestal Estatal 2006-2028. Gobierno del Estado de Veracruz, Sedarpa-DGDF. Xalapa, Ver.

Semarnat, 2010. Visión de México sobre REDD+. Documento oficial presentado ante la COP 16. Diciembre, 2010. Conafor, Semarnat, INE, Conabio.

Skerrit, D. 1993. La tentación de la ganadería. *In*: Barrera, N. y H. Rodríguez (coords.). Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz. Impactos económicos, ecológicos y culturales de la ganadería en Veracruz. F. Friedrich Ebert, CIESAS-Golfo, Inecol. Xalapa, Ver., p: 109-116.

Takaki, F.F. 2010. Información básica para la construcción de la tasa de deforestación. INEGI. http://www.inegi.org.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/20/FranciscoTakaki.pdf

The Forests Dialogue. 2008. Beyond REDD: The Role of Forests in Climate Change. A Statement. Oct., 2008. Yale University. www.theforestsdialogue.org/climate.html

UN-REDD. 2009a. Newsletter. www.un-redd.org, consultado el 13 de noviembre del 2009. UN-REDD Programme

UN-REDD. 2009b. Framework for Action 2009-2014 on Measurement,

Reporting and Verification (MRV). FAO, UNDP, UNEP. 13 p.

Vargas-Guillén, A., S. Aguilar-Martínez, M.A. Castillo-Santiago, E. Esquivel-Bazán, M.A. Hernández-Vázquez, A.M. López-Gómez y S. Quechulpa-Montalvo. 2009. Programa estatal para la compensación por servicios ecosistémicos. Una propuesta para Chiapas. Conabio. Corredor Biológico Mesoamericano, 58 p.

Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica 62. INE, México.

Villers, L. e I. Trejo.1998. El impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. Interciencia 23:10-19.

Villers, L. e I. Trejo. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. *In*: Martinez, J. y A. Fernández-Bremauntz eds. Cambio climático: una visión desde México, INE, Semarnat, México, pp. 239-254.

Manuscrito recibido el 5 de octubre de 2010.
Aceptado el 12 de septiembre de 2011.

Este documento se debe citar como: Gerez-Fernández P. y M.R. Pineda-López. Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques* 17(3):7-27

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Usos y riesgos del agua en la cuenca La Antigua, Veracruz, México

Water uses and risks in La Antigua watershed, Veracruz, Mexico

Ana Rita Román-Jiménez[1], Martín Alfonso Mendoza-Briseño[1], Alejandro Velázquez-Martínez[1], Mario Roberto Martínez-Ménez[1], Juan Manuel Torres-Rojo[2] y Hugo Ramírez-Maldonado[3]

RESUMEN

El agua en México se considera un recurso escaso y valioso. Este trabajo es un ensayo que toma como caso de estudio la cuenca del río La Antigua, en Veracruz, México. En este lugar la condición y manejo de las tierras se relacionó con atributos del agua en función de usos varios. La cuenca de La Antigua capta una gran cantidad de agua y aún así se perciben problemas relacionados con el vital líquido. Las evidencias y el análisis en este estudio revelan la existencia de un imaginario colectivo compartido entre habitantes, autoridades, analistas y científicos de La Antigua, según el cual el agua es vital, valiosa y escasa. Esta visión se contradice con el comportamiento de las personas respecto del uso del agua y manejo del territorio de la cuenca, el cual corresponde al que se asociaría a un recurso abundante, de bajo costo y sin externalidades significativas en su uso. El escenario descrito no es irracional, más bien representa la respuesta pragmática frente a un fragmento del total del agua existente, alrededor del cual funcionan ciertos procesos culturales que redefinen la disponibilidad y el buen uso del agua que transita en los sistemas sociales. Comprender este escenario es indispensable para ofrecer a los responsables de la política hidrológica de La Antigua, y otros lugares en México y el mundo, explicaciones sobre el poco provecho que otorga enfatizar soluciones tecnológicas para aliviar una aparente escasez, imposible en un recurso con tantas y distintas funciones y valoraciones.

PALABRAS CLAVE:
Disturbios ecológicos, gestión de conflictos, manejo de cuencas, paisaje, uso de la tierra, uso múltiple.

ABSTRACT

Water in Mexico is considered scarce resource. In this essay La Antigua watershed was chosen as a study case. In this site, watershed condition and land management policies were linked to water resource attributes suitable for different consumption uses. La Antigua watershed catches plenty of water; still people perceive problems. Evidence and analysis in this study uncovered a collective belief shared by the public, government, analysts and scientists in La Antigua. The belief sustains that water is vital, valuable and scarce. However, public behaviour contradicts such collective understanding. People choices are more consistent with a plentiful low cost resource, with no significant externalities. La Antigua scenario is not irrational, it represents the practical response towards only a fraction of all water stocks, a fraction which involves cultural processes redefining availability and good use of water moving through social systems. Understanding this scenario is essential to offering reliable insights in

1 Colegio de Postgraduados, c.e.: aritacolpos@yahoo.com, mmendoza@colpos.mx, alejvela@colpos.mx, mmario@colpos.mx.
2 Comisión Nacional Forestal, c.e.: directorgeneral@conafor.gob.mx.
3 Universidad Autónoma Chapingo, c.e.: hugorm@correo.chapingo.mx.

water policies to the decision makers in La Antigua, other parts of Mexico, and the world. Emphasizes that it is better to move away from technological solutions to deal with an imaginary scarcity, which is in fact unreal given a resource with so many and so different functions and valuations.

KEY WORDS:
Ecological disturbances, conflict management, watershed management, landscapes, land use, multiple use.

INTRODUCCIÓN

Las incontables discusiones, tanto casuales como académicas, sobre los perennes conflictos humanos por el agua han sido siempre atraídas por la fuerza de una visión errónea y fragmentada. Casi todas estas miradas se enfocan a temas particulares como la disponibilidad de agua dulce en las redes de distribución ya existentes y plantean estrategias de conservación que se presentan como asuntos de donde pende la vida humana. Es por esa importancia que ameritan acciones conservacionistas que contradicen las cifras objetivas más ampliamente conocidas que las mismas fuentes reportan. En su modalidad más reciente, que es el Foro Mundial del Agua (Conagua, 2004), estas visiones han alimentado injustificables llamados por parte de organizaciones no gubernamentales, como la National Geographic Society (Johns, 2010; López, 2010), hacia acciones solidarias pero finalmente estériles.

De modo general la falta de alguna clase de producto o servicio hídrico se etiqueta como escasez de agua. La mayoría de los argumentos buscan demostrar que el agua es una necesidad humana primordial que se encuentra amenazada (Aguilar, 2001), que no puede satisfacerse adecuadamente por ineficiencias, tensiones e inequidad en su manejo y distribución (Ávila, 2003). También existe el reclamo de que el acceso al agua es arbitrario, con situaciones en las que se privilegian algunos grupos sobre otros, lo que genera expresiones y posiciones que han llegado a originar conflictos sociales violentos (Barkin, 2006).

El agua ha sido un tema social prioritario y conflictivo, incluso en zonas donde es abundante (Aldana, 2001). Se ha reportado que las zonas tropicales del mundo presentan tantos problemas relacionados con el agua como las zonas áridas. Es claro así que ningún sitio poblado pareciera estar exento de controversias y, cada vez con más frecuencia, se exponen nuevos temas que enmarcan problemáticas locales o regionales que llegan a convertirse en focos de atención nacional e internacional (Vergnes, 2002; Barkin, 2006). Esa paradoja invita a postular la hipótesis de que los problemas hidrológicos no tienen que ver con el agua, sino con la cultura y el comportamiento de las personas.

OBJETIVOS

El propósito de este trabajo es mostrar que a partir de que la opinión pública construye una percepción fragmentada de los múltiples significados del recurso natural llamado agua, se generan conflictos en las acciones humanas, conflictos que no se reflejan en el estado objetivo del recurso hídrico (la sustancia H_2O).

Para ello se tomó un caso extremo que es la cuenca de La Antigua, Veracruz, México, donde está disponible, en abundancia, el agua. Como escenario ejemplar se estudiaron tres temas específicos que tienen el potencial de ser generalizados:

Buscar, si la hubiere, algún grado de consistencia entre las formas de uso del agua y las mínimas nociones de raciona-

lidad respecto a la realidad objetiva de su inventario y disponibilidad como sustancia.

Analizar si pudiera ser real la condición de escasez para un amplio número de productos y servicios hídricos, no respecto de la gestión hidrológica de las cuencas, sino vistos estos productos dentro del marco cultural y las expectativas de los usuarios.

Comprender que los conflictos a que da lugar la percepción de escasez del agua, disponible para uso humano, pudiera tener una salida, si se da por descontado que el problema planteado, en términos de ciencia o tecnología, soluble o no, es irrelevante, y que lo procedente es enfrentar los conflictos relativos a sus implicaciones en el espacio de la justicia, el derecho, la equidad y la cultura.

MÉTODO

El caso de estudio

La cuenca de La Antigua ha sido definida por la Conabio como región hidrológica prioritaria; está situada en la porción central del estado de Veracruz (19°13'12" - 18°51'00" N; 97°16'12" - 95°55'12" E); con una extensión total de 232 000 643 ha (Fig. 1).

Se considera como punto de partida la peña del Cofre de Perote o Naucampatépetl (4282 msnm). La corriente principal que drena la cuenca recibe varios nombres, según su localización geográfica de occidente a oriente, Santa María, Jalcomulco (Los Pescados) y La Antigua, cuenca que desemboca en el Golfo de México. El volumen medio anual de esta corriente se estima en 2 000 817 millones de metros cúbicos (Arriaga *et al.*, 1998). El clima general es templado (promedio anual 12 °C a 26 °C) y tiene en conjunto un régimen subhúmedo, la precipitación promedio anual es de 1 800 mm. Existen al menos 25 especies de árboles y arbustos en toda la extensión de la cuenca, formando comunidades vegetales que van desde bosque templado-frío hasta selva baja. Los principales poblados son Coatepec, Xico, Teocelo, Tuzamapan, Jalcomulco y La Antigua, todos en distinto grado de desarrollo urbano. En lo que respecta al manejo de la tierra las actividades económicas más importantes son la agricultura (con la caña y el café como cultivos principales), la industria, la ganadería, la pesca y el turismo (Arriaga *et al.*, 1998; Gobierno del Estado de Veracruz, 2008).

Xalapa de Enríquez, la capital de Veracruz (1250 msnm), se localiza a menos de 50 km de la cima del Cofre de Perote; tiene 421 000 696 habitantes y utiliza 34 579 072 m³ de agua al año, la mayoría de la cual se capta en la cuenca de La Antigua y luego se conduce y distribuye a la ciudad (CMAS-Xalapa, 2000; Gobierno del Estado de Veracruz, 2008).

En los distintos paisajes de la región la humedad atmosférica, las neblinas, la lluvia, el agua en el suelo, los mantos freáticos y el agua mineral, entre otras formas de presencia del agua, sostienen el clima y los procesos biológicos que enmarcan a esta zona considerada como un gradiente montañoso de ambientes templado húmedos, descendiendo a planicies tropicales secas, con frecuentes microambientes de galería alrededor de las zonas ribereñas. La rica vida silvestre y los recursos bióticos, así como el suelo fértil que se generan, son sostenidos por la humedad y característicos de la cuenca de La Antigua, asimismo son reconocidos culturalmente como elementos importantes de la identidad regional, ya sea como zonas de paseo en la montaña (por ejemplo, los corredores de los parques

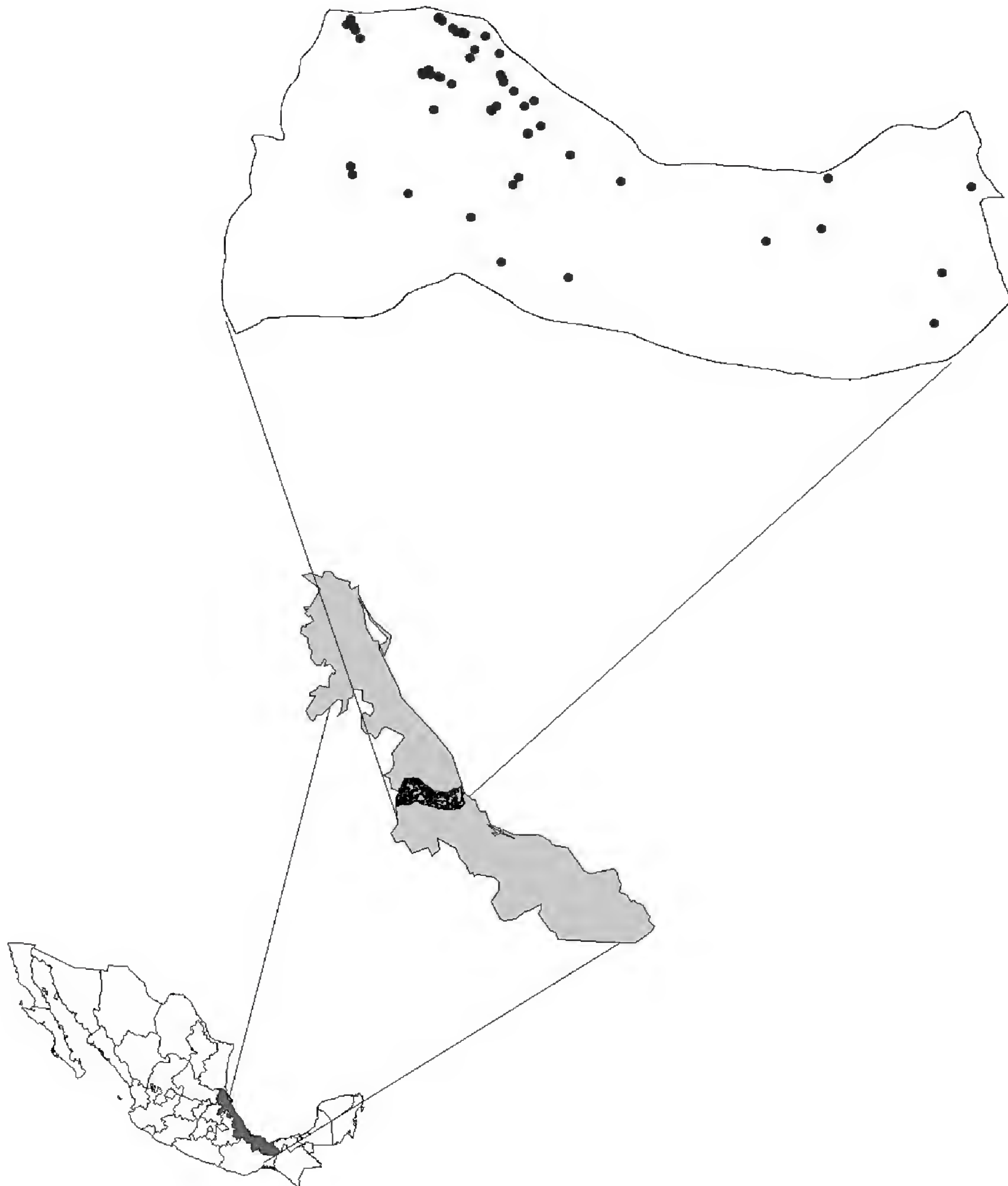


Figura 1. Proyección de la cuenca de La Antigua, su ubicación en el estado de Veracruz y localización de los sitios muestra.

nacionales Cofre de Perote-Pico de Orizaba; desarrollos ecoturísticos como Las Cañadas y Los Cocuyos); los productivos cafetales alrededor de Coatepec; o bien los cañaverales en las partes de planicie (Fig. 2), y las áreas de pesca y recreación acuática, incluyendo desarrollos de turismo denominado 'extremo', que se presentan a todo lo largo del Río Santa María-Jalcomulco-La Antigua y sus corrientes tributarias (Ayuntamiento de Xalapa, 2005).



Limpieza



Pesca y captura



Navegación



Usos deportivos

Figura 2. Imágenes de los usos del agua en la cuenca de La Antigua, Veracruz.

Secuencia de análisis

Para cada una de las categorías de ambiente esperadas en la cuenca de La Antigua, según la clasificación de tierras del INEGI (2010), se visitaron en campo al menos tres puntos al azar. Durante esas visitas se calificó al paisaje con estimaciones de opinión experta que interpreta la distancia relativa desde las condiciones actuales hasta las condiciones teóricas espontáneas esperadas en las descripciones del INEGI, que a su vez están tomadas de Rzedowski (2006), enfatizando los atributos significativos para el recurso hídrico. El muestreo de campo además incluyó cifras sobre 48 variables caracterizando el sitio (Anexo 1).

Los registros de campo permitieron construir una matriz de datos que relacionó los usos de la tierra y su compatibilidad con el agua, en un orden jerárquico en que se asignó la compatibilidad hídrica más alta a los sitios con la condición más natural y a las estructuras sucesionales tardías. A los escenarios de sucesión temprana, a las condiciones antropogénicamente transformadas y a los ambientes degradados, se les asignó el menor valor de compatibilidad.

La compatibilidad de los ambientes con el agua no fue analizada estadísticamente, porque el carácter único de los ambientes encontrados no puede tener una disposición geográfica al azar, ni

tampoco uniforme; cada tipo específico fue considerado un muestreo puntual. Los estadísticos que se presentan en este estudio fueron aquellos que no conllevan premisas que no se cumplan en el diseño del acopio de datos. Sobre todo el muestreo no pretende estimar tendencias, medidas representativas ni hacer inferencias, sino funcionar como una red que arrastra y captura la pluralidad de situaciones en la cuenca, y son estas situaciones las que dan lugar a argumentos para contrastar la validez de las explicaciones propuestas en este ensayo.

El modelo de uso múltiple

Entender el tema del agua sería una tarea posible si se acepta una base de conocimiento teórico sobre la cual realizar ensayos cotejando las explicaciones alternas de los fenómenos que se perciben en el escenario del caso estudiado. Para los fines de este trabajo, este basamento teórico se denotará como el modelo de uso múltiple. Entender la gestión de la cuenca es posible si se le considera como un espacio natural dedicado a la producción concurrente de múltiples bienes, servicios y protección de la seguridad de las personas y sus intereses. En este sentido, la cuenca puede ser entendida y manejada con los elementos teóricos y la tecnología del manejo forestal de uso múltiple (Davis *et al*., 2000).

El agua es por naturaleza un recurso múltiple que se utiliza parcialmente y que es proveedor de una variedad tan amplia de productos y servicios que algunos de ellos no siempre resultan distinguibles para la población; cada forma de uso del agua es un resultado posible del manejo de la tierra. Cada uno de ellos tiene un tipo particular de obtención, de tránsito, de forma de consumo, que origina a su vez otros productos, servicios y consecuencias que pueden definirse por separado, generando un amplio catálogo de opciones (Román *et al*., 2005).

En la tabla 1 se presenta un ejemplo del modelo de caracterización del uso del agua en la cuenca, que muestra sin necesidad de mucho detalle, que cada uso o consecuencia tiene atributos particulares que lo distinguen de los otros.

Consideremos aceptable que los procesos químicos espontáneos, los metabólicos y los industriales que descomponen o sintetizan agua dan lugar a un cambio neto despreciablemente pequeño. En la mente del público y en los balances hídricos se pasa por alto el posible papel de la síntesis y la descomposición química del agua, por eso, en la escala humana, el agua como sustancia es infinita e inagotable (De Villiers, 2003). Sus distintos usos simplemente la cambian de lugar y, en el camino, modifican su calidad y disponibilidad.

Si con fines de estudio se sitúa arbitrariamente el principio del ciclo del agua en la precipitación, consideremos también que las entradas de un sistema de abastecimiento regional son relativamente constantes; los límites geográficos y el patrón climático general permiten hacer estimaciones probabilísticas razonablemente confiables; sin embargo, visto en una escala más local, la disponibilidad particular de los volúmenes de agua es variable en tiempo y en espacio. Por eso no es tan importante saber cuánta agua caerá, sino saber de qué manera se desplazará en su forma líquida dentro de los límites de una región. Como la precipitación es un fluído, en un tiempo generalmente corto las tierras bajas acumulan significativamente mayor cantidad de agua que las altas; en cambio, lo que requiere creatividad y planeación a distintas escalas, es la predicción y el control de su trayectoria, lo

Tabla 1. Ejemplo de atributos del agua en algunas de sus alternativas de uso o consecuencias.

	Agua para beber §	*Drenaje*	*Riego*	*Erosión*	*Navegación*	*Generación eléctrica*	*Deportes*
Temperatura (° C)	7 – 15	4-100	10-25	Indistinta	4 – 35	4 – 99	4-30
Altura del tirante	Ninguna	Variable	Lámina del cultivo	>0.5 m	>10 m	>1 m	> 2 m
Volumen	2 L $día^{-1}$	Descarga variable	Depende del cultivo	Desconocido	Indistinto	$>1x10^6$ m^3	Desconocido
Velocidad	0	Indistinta	Indistinta	>1 m^3 s^{-1}	0 – 10 Km h^{-1}	>1m^3 s^{-1}	>1 m^3 s^{-1}
pH	7	3 – 11	5 – 8	3 – 11	5 – 8	3 – 11	5 – 8
Contenido de sales	<0.5 g L^{-1}	Variable	Variable	Indistinto	Indistinto	Indistinto	Indistinto
Pureza	Libre de patógenos	Ninguna	Libre de sólidos	Indistinta	Indistinta	Indistinta	Libre de sólidos
Disposición (Ocurrencia)	Llave	Tuberías	Sistemas	Superficial o en cauces	Extensión navegable	Diferencial de altitud	Ríos jóvenes
Disponibilidad	Diaria	Continua	Anual	Estacional o por evento	Permanente	Continua	Estacional

FUENTE: Pulido (1998).

cual puede diseñarse aprovechando los atributos del perfil topográfico de la cuenca que es cotidianamente moldeado por el paso del agua.

LA EVIDENCIA

El caso de la cuenca de La Antigua

En La Antigua, actualmente no existe regulación local para el manejo del agua, sino que la normatividad está circunscrita al dictado de las leyes federales (DOF, 2004). Empero, han existido iniciativas locales, por ejemplo en el municipio de Coatepec, donde se ha debatido la necesidad de que las acciones en torno al agua y al ambiente se desarrollen en el marco de un consenso público (Ayuntamiento de Xalapa, 2005).

Como en otras cuencas del país, en La Antigua los usos del agua son diversos y sus consecuencias son diferentes en las zonas urbana y rural. Los cuerpos de agua se utilizan para transporte fluvial y el agua que derivan en la producción agrícola, pecuaria e industrial. También están los usos consuntivos, a nivel doméstico y comercial, en los que están incluidos el drenaje en las áreas urbanas, suburbanas y rurales, y las instalaciones que procesan y envasan agua para beber.

En la cuenca de La Antigua, el análisis sobre la calidad y disponibilidad variable a lo largo de la cuenca, muestra que el agua es, en general, un recurso abundante y disponible. A pesar de ello existen conflictos de abastecimiento por diferentes razones que tienen que ver más con la calidad del agua que con la disponibilidad de volúmenes suficientes.

Toda la cuenca ha pasado por un intenso proceso de conversión de usos de suelo, donde la cubierta vegetal natural ha perdido casi por completo su valor, cediendo el paso a usos económicamente ventajosos, como los cultivos de café, caña y frutales, o a la producción de ganado.

Analizando lo que sucede con el agua de riego agrícola, encontramos que esta agua se contamina con agroquímicos y sales naturales en su paso por parcelas y arroyos, independientemente de los aforos (CMAS-Xalapa, 2000). Dado que es ínfima la cantidad de agua de riego que ingresa físicamente al interior de las plantas (Hoekstra y Chapagain, 2008), al volver a la red hidráulica natural las descargas agrícolas harían que el problema urbano fuese la abundancia y no la escasez, de no ser porque esta agua requiere tratamiento para reducir los contaminantes a niveles de inocuidad aceptables.

La zona aún no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales, y no existe normatividad local sobre sedimentos permisibles, ni vigilancia eficaz sobre el cumplimiento de las normas sanitarias federales sobre la contaminación por uso pecuario.

El comportamiento de los habitantes y principales actores económicos en La Antigua, sugiere que el ambiente actual es aceptable. No se perciben niveles altos de conflicto, ni siquiera ante el riesgo de desastres, porque dicho riesgo no es advertido por la totalidad de la población. Es posible afirmar, como sucede en otras partes del país, que el agua se encuentra incluida dentro del contexto de escaso valor que la sociedad en su conjunto otorga a los ambientes naturales; incluso donde las áreas forestales manejadas de forma tradicional son una opción económica (López *et al.*, 2007).

El único rubro que comúnmente otorga al agua un mayor valor económico

es el consumo humano (doméstico o industrial y los servicios de descarga); quizá porque el esquema de administración permite la vigencia del régimen de propiedad. En Veracruz, como en los demás estados del país, en el marco de la Ley de Aguas Nacionales y de acuerdo con los artículos en materia de aguas de la Ley Federal de Derechos (DOF, 2004), el agua de la cuenca es un recurso de acceso libre hasta que es captada por la infraestructura hidráulica. Los usos consuntivos del agua captada en las obras de cabecera, así como los escurrimientos o los mantos freáticos abajo de la cabecera, se reparten entre los distritos de riego y las instancias públicas de abasto a núcleos de población y, en ambos casos, el agua termina siendo vendida como mercancía a los usuarios demandantes. Cabe anotar que por la disposición de las aguas residuales también se pagan cuotas establecidas por el concesionario según sus propios criterios de operación (CMAS-Xalapa, 2000).

Sin embargo, como hemos revisado, el agua no es solo agua potable ni beneficia a los individuos únicamente porque puede tomarse o sirve para limpiar, es conveniente entonces intentar suscribir sus valores e intercambios no evidentes de manera amplia y no a nivel particular (Meshack *et al.*, 2006). Al respecto, la tenencia de la tierra en México presenta opciones muy interesantes, que son la base para explorar otras opciones de valor del agua desde el punto de vista del manejo comunitario y señalar las diferencias según el uso, sea privado o mancomunado (Bray *et al.*, 2003).

Para mostrar algunas de sus relaciones funcionales y revelar otros valores e intercambios no explícitos del agua, se esquematizan en la figura 3 las estimaciones de oferta de agua de la cuenca de La Antigua, obtenidas con la ecuación del Modelo General de Escurrimiento utilizado por la CNA y con los porcentajes estimados por IMTA para algunos de los destinos comunes del agua en la cuenca.

Como puede observarse, algunos datos volumétricos no están disponibles, pero el agua se utiliza de múltiples formas en toda la cuenca. Pocas prácticas relacionadas con el manejo del agua tienen costos y precios claramente definidos, asumiendo entonces como precio las cuotas públicas sobre consumo de agua de uso urbano, doméstico, comercial e industrial, y tasas fijas por manejo de aguas residuales. El diagrama también muestra al drenaje como el factor clave, porque hay que considerar que la precipitación, el escurrimiento y las aguas residuales vuelven a los cauces. Los usuarios no son conscientes de que el agua que reciben en casa no es el total del agua que sus actividades demandan y la cual consumen; el agua es también parte del capital natural y por ello acarrea consecuencias generalizadas que sólo pueden mostrarse a escalas amplias.

El usuario tampoco es consciente de que los usos consuntivos del agua son prácticamente los únicos que tienen tarifas de cobro, porque es para ellos para los que las entidades administrativas del agua calculan cuotas de distribución, disposición y desecho (drenaje), de acuerdo con sus propios presupuestos de operación (CMAS-Xalapa, 2000).

Se debe considerar que la sociedad recibe información ocasional sobre intercambios económicos, como subsidios o impuestos, lo cual limita su percepción sobre el valor real del sistema de gestión del agua, cuya factura de este modo se traslada y reparte a través de otros productos y servicios de consumo en los hogares. El hecho importante a destacar aquí es que así como los usos privados del agua tienen consecuencias públicas,

también los intercambios físicos y económicos entre particulares, relacionados con el manejo y la distribución del agua, deberían ser transparentes para la sociedad. Estas circunstancias son coincidentes con otros recursos de libre acceso que incluyen a los océanos y otras áreas naturales manejadas (García, 2009).

Existe entonces la inquietud de las instancias administrativas del agua, de crear esquemas en los que el consumidor sea consciente de que se necesitan cobros mayores, para garantizar el abasto de agua limpia y segura. En este sentido, las posibilidades de alternativas con valor agregado están del lado de la calidad, la oportunidad y el servicio. La

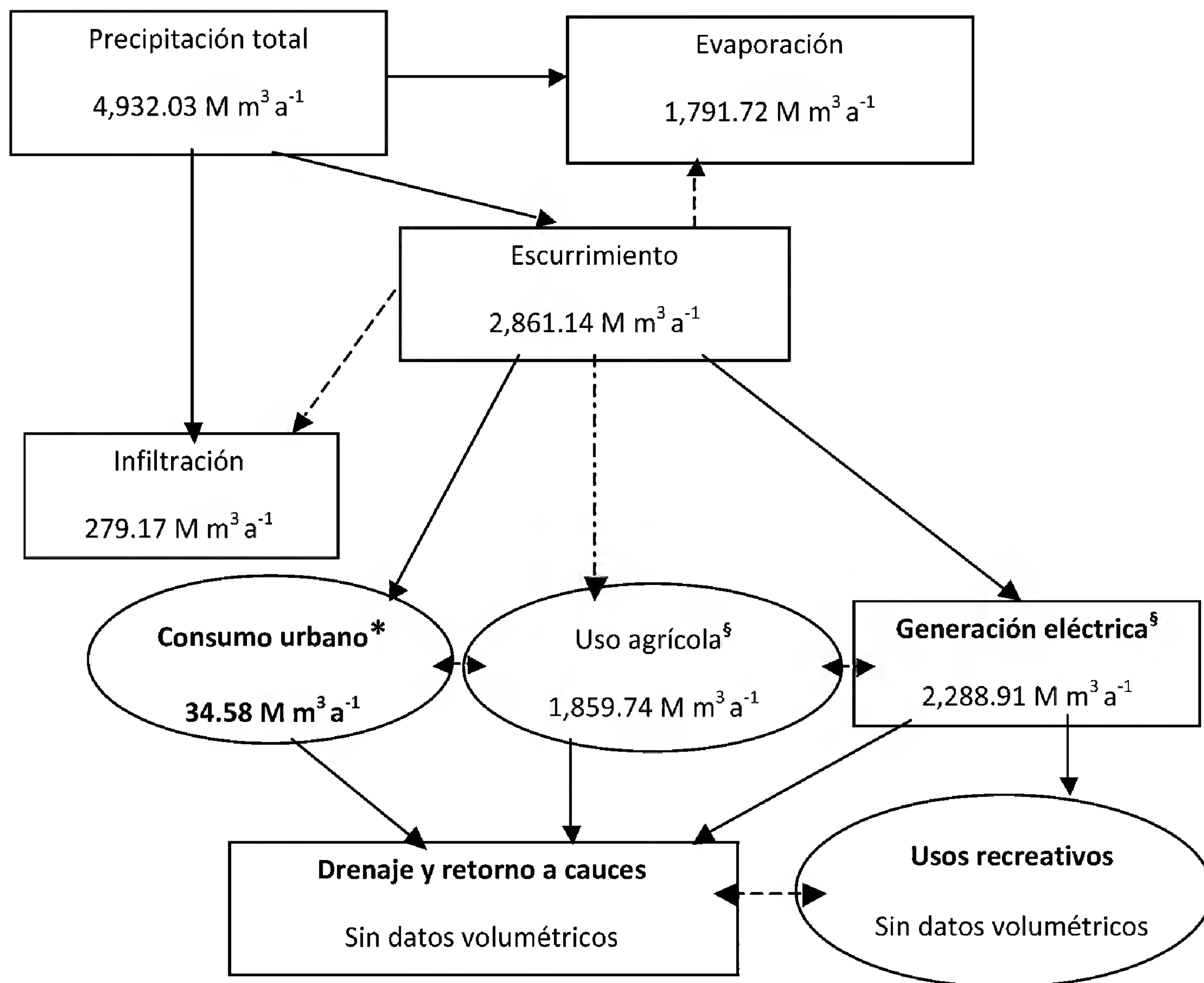


Figura 3. Componentes hidrológicos (M m^3 a^{-1}) y posibilidades de uso del agua en la cuenca del río La Antigua, generados a partir de estadísticos publicados por IMTA (1999) y CMAS-Xalapa (2000). Los rectángulos representan flujos continuos y los óvalos, discontinuos. En el intercambio de flujos de agua las flechas sólidas implican certeza y las quebradas incertidumbre. Ciertos valores económicos están disponibles solo para los usos en negritas. * Consumo urbano (2000) de la ciudad de Xalapa de Enríquez, Ver. § Volúmenes estimados a partir de los porcentajes de uso publicados por IMTA (Arreguín, 2003).

circunstancia que no debe ignorarse es que el agua que se recibe puede ser usada por muchas personas antes de tener “consumidor final” determinado, esto sin detrimento del beneficio hacia los consumidores y prácticamente sin impacto a terceros. Además, es esperado que haya opciones variadas para purificar el agua para los fines subsecuentes, luego de haberla empleado en otros fines.

En la cuenca La Antigua se identifican ejemplos claros de una convivencia en torno al agua y sus múltiples facetas. A pesar de la falta de cohesión entre los diferentes puntos de vista de los individuos respecto del ambiente natural, existe un consenso implícito frente a un mosaico de usos de suelo que resultan significativos para la identidad regional. Ya del Ángel *et al.* (2006) han señalado que en la zona existen valores que no pueden ser sustituidos, precisamente porque están ligados a la memoria cultural e histórica de algunos de los grupos de actores sociales involucrados en el manejo de los recursos naturales de la región y que, por lo mismo, para la evaluación de sus percepciones es necesario establecer comunicación en el marco de la identidad regional. Tal situación es comparable con otras cuencas nacionales y por eso adquiere importancia la revisión cercana de algunos ejemplos de usos del suelo que tienen impactos importantes sobre la calidad y la provisión del agua en la cuenca.

Usos, servicios y consecuencias del agua en la cuenca de La Antigua

La desembocadura del río La Antigua, de donde la cuenca toma su nombre, es una localidad turística con valor histórico; los visitantes pueden tomar paseos en lancha, que también es el medio de transporte local entre las colonias de ambos márgenes del río, y comer en los restaurantes de las orillas de la zona que cuentan con sus propias redes de captura de crustáceos, para el abastecimiento de sus negocios. Dada esta situación se favorece el microclima ribereño, con vegetación en la orilla que mantiene el agua oxigenada, la temperatura más estable, además de proveer sombra y refugio para langostinos y otros crustáceos. Existe también una zona de embarcaderos, donde no existe vegetación ribereña y los impactos mecánicos sobre el terreno del cauce son evidentes. Aunque resulta imperceptible, por el movimiento del río y la mezcla de agua dulce y salina, el drenaje de la ciudad se vierte al agua y no hay instalaciones de remediación o avisos sanitarios. Los terrenos a la margen del río son inundables, en consecuencia, las calles más cercanas son empedradas. Algo que llama la atención es que existe una franja de tierra al lado de la margen baja del río, que se deja libre de construcción y se utiliza como sendero o camino para el tránsito de personas, esta franja es la única zona de amortiguamiento que tiene el cauce y sus dimensiones no son uniformes respecto a las cotas del perfil de aguas máximas.

Todas las anteriores son opciones no evidentes de manejo del agua; los propietarios que toman partido por conservar una imagen de sus casas, congruente con su entorno, proporcionan también, sin intención, hábitat y alimento para aves y descanso y recreación para las personas.

En cambio, las propiedades que remueven la vegetación y la limitan a grandes árboles que proporcionan sombra y flores de ornato confinadas en macetas, muestran charcos, erosión y aportes sedimentarios a las calles durante los aguaceros torrenciales.

La región media de la cuenca, donde el cauce principal fluye por cañadas y sus tributarios son corrientes que van de efímeras a estacionales, presenta una rica configuración ambiental definida por el tipo de uso de suelo preferido como opción económica por los propietarios. Así, encontramos cultivo y beneficio de café a sol y sombra; cultivo y procesamiento de caña de azúcar; árboles frutales y plantíos de hortalizas, huertos, cercos vivos, cría y mantenimiento de ganado menor (cabras, ovejas y aves de corral) y mayor (vacas, toros y caballos). Hay agua en cada una de estos manejos, en muy diferentes formas, no solo como corrientes, canales de intercultivo, desagües, tanques de almacenamiento y fábricas embotelladoras de agua y refrescos; hay además neblina, llovizna, brisa y rocío; microclimas específicos de los ambientes de galería y pendiente que constituyen la forma de vegetación original más conspicua de la región: el bosque mesófilo de montaña. La flora y la fauna asociada a cada comunidad vegetal, proporcionan opciones de cultivo para especies ornamentales no tradicionales, como las orquídeas, los helechos y las cícadas. También es evidente la costumbre tradicional de domesticación de aves canoras y pequeños mamíferos.

Se presentan de manera alternativa algunas opciones turísticas con un enfoque campirano, lo que privilegia lo rústico sobre lo artificial y que convierten al paisaje en un valor agregado, como sucede en poblaciones como Xico, Teocelo, Coatepec, San Marcos y la Hacienda Zimpizahua. Asimismo existen en la periferia las ciudades más grandes, como Xalapa, Coatepec y Huatusco, y zonas habitacionales con mayores ingresos que conservan por decisión de los propietarios la apariencia rural de la región (Fig. 4), pero que llevan a cabo obras de construcción, mantenimiento y arquitectura de jardines, introduciendo mejoras sustanciales a la condición de los cauces y los caminos.

Sin embargo, existen grandes diferencias entre las formas de manejo del agua por los pobladores en las distintas localidades de la región, cuyos impactos son inadvertidos. Veremos que el cultivo de café a sol en laderas resulta opuesto al cultivo del café orgánico, que promueve la integración de elementos arbóreos para sombra, así como monte bajo y vegetación rasante con fines de fertilización natural. Los puntos intermedios son los cafetales a sombra, que se manejan en una forma netamente agrícola, con fertilización química y remoción de los elementos vegetales ajenos al cultivo. Los sedimentos aportados por el café a sol, hacia los cauces y zonas bajas, son permanentes y aún no cuantificados, aunque se ha observado que disponen de una mejor infraestructura de caminos. Por otra parte, los cafetales bajo sombra manejan mejor el suelo, pero requieren una intervención adicional de técnicas de ingeniería civil para el mantenimiento de los accesos internos y hacia la red de caminos de las localidades, acciones que, o bien no se consideran necesarias o no se cumplen, sobre todo por inercia social local dado que forman parte de una sección menos visible del desarrollo, donde no existe una necesidad inminente de cambiar el entorno rural.

Un caso similar resulta en algunos sitios que poseen un alto valor sociocultural, como las ermitas o los panteones, que están situados en zonas propias del drenaje natural de la cuenca, intercalados topográficamente con los centros de población y que por su carácter promueven el tránsito continuo de visitantes pero también de desechos, con los conocidos efectos de compactación y aportes sedimentarios en las laderas y los caminos. Otras actividades cotidianas de los asentamientos humanos que interac-



Paisaje forestal de transición



Cafetales en bosque mesófilo



Parcelas en descanso en selva baja



Captura de crustáceos en área ribereñas

Figura 4. Algunos ejemplos de usos del suelo en condiciones de paisaje forestal que presentan compatibilidad alta con el manejo del agua y que muestran manejo responsable con fines de uso múltiple.

túan con los cauces incluyen baños y lavado de ropa en los ríos; sin contar con que los drenajes se vierten en ellos, esto de forma continua y por cierto sin ser notados por el público, porque el tránsito de las aguas se encarga de las primeras etapas de la filtración de los efluentes.

El uso pecuario presenta los mayores riesgos y es un verdadero conflicto en el manejo del agua de toda la cuenca. No existen restricciones sanitarias para el acceso del ganado a los cauces; el libre abrevadero aporta una contaminación biológica en las riberas y cauces de las zonas altas e intermedias de la cuenca. Así, aunque existen algunos ejemplos de ganado estabulado no puede contarse con un control adecuado de sus residuos biológicos.

La actividad ganadera realizada en pastizales naturales de alta montaña es particularmente negativa; la fragilidad y el grado de daño del suelo de las praderas de montaña y el estado de los caminos asociados al tránsito de animales dan lugar a los ejemplos más graves de deterioro vistos en la cuenca (Fig. 5).



Caminos rurales



Apacentamiento



Usos fragmentados de la tierra



Usos pecuarios

Figura 5. Algunos ejemplos comunes de usos del suelo en la cuenca de La Antigua que representan compatibilidad baja con los usos posibles del agua, y al mismo tiempo muestran formas típicas de manejo con fines de uso múltiple.

A la contaminación biológica se agrega la contaminación química de la agricultura más tecnificada, que requiere cuidados regulares a extensos monocultivos de caña de azúcar, además de los residuos producto de la refinación del jarabe obtenido para su comercialización. Esta opción económica es muy atractiva por sus ganancias, pero también agrega tensión al estado de los caminos y terrenos en ciertas épocas del año. Los usos y costumbres de la región están tan arraigados, que aún hoy son parte del paisaje y no parece existir una justificación social para negociar un aporte especial de cuotas de mantenimiento a las carreteras federales, a los caminos vecinales y a las brechas y drenajes intercultivos; el contenido bioquímico y la frecuencia de las descargas de los ingenios a los cauces es desconocido en la región, a nivel del habitante común.

De manera independiente al uso, apropiación, mantenimiento y conservación del recurso hídrico total, al moverse por la cuenca el agua natural sigue siendo parte del entorno y el paisaje, con

numerosos aportes al mantenimiento de la vida silvestre y los procesos ecológicos que sostienen a las ricas cubiertas naturales de la región.

El agua entubada, por otro lado, aporta valor a través de la vida y actividades de la población y los productos de la economía regional. Aún en los aspectos negativos, como la disposición de aguas de desecho y los riesgos de seguridad relacionados con la posibilidad de eventos catastróficos, como inundaciones o deslaves, la cuenca de La Antigua mantiene condiciones habitables y soporta sistemas sociales y económicos en pleno funcionamiento sin haber un régimen que maneje el agua dentro de márgenes mínimos (como se esperaría si se tratara de un producto simple); y en ausencia de una administración basada en racionalidad gerencial estricta o un mercado definido, para cualquiera de sus opciones de uso. En general, las actividades sociales y económicas funcionan de manera continua, aunque llegan a existir conflictos creados por luchas entre grupos de usuarios cuando estos desean algún tipo de agua en el mismo perfil temporal.

DISCUSIÓN

Ejercer presión mediática y discrecionalidad al aplicar un precio a pagar por el agua potable entubada, hace aparecer la venta no como un servicio, sino como la garantía del cuidado de una sustancia vital y eso estimula los niveles de tensión individual y social. En apariencia se persigue un efecto de “toma de conciencia” con respecto al agua, pero lo que abunda es un comportamiento contradictorio que puede llevar a usar agua potable de alta calidad para lavar la ropa. La incongruencia de los actos humanos cotidianos niega las posiciones ideológicas que se suponen generales: Si el agua entubada fuera costosa (valor monetario) o realmente importara su calidad (valor social), no se dispondría tan liberalmente de ella en usos como la limpieza y el transporte de desechos. El agua que realmente es costosa tiene marca, viene embotellada con cerradura hermética y sus propiedades físicas, químicas y biológicas tienen garantía sanitaria. Esta agua también sirve para lavar un auto, pero no la usamos para ese fin porque resultaría demasiado costoso. En términos de racionalidad económica hablamos de la misma razón por la cual es tan escaso el empleo del oro para cables eléctricos o en utensilios de cocina, a pesar de ser un material tecnológicamente idóneo para esas dos aplicaciones.

El concepto importante a resaltar aquí es que el agua entubada (valor administrativo), la que nuestro manejo doméstico, estilo de vida y tecnología actuales convierten en indispensable, no es el agua que en realidad necesitamos (valor intrínseco). Las verdaderas funciones ecológicas y ambientales del agua no son cumplidas, ni en la cuenca de La Antigua ni en otras, por este líquido que cursa el territorio en tuberías (Robert, 2002).

Hacer juicios morales en torno a los asuntos de manejo del agua es algo tan común que se ha vuelto imperceptible en los análisis serios del tema, donde incluso se emiten como declaraciones de responsabilidad social (Ávila, 2002). Desperdiciar agua entubada se ha elevado a la categoría de pecado ecológico, cuya expiación consiste en el reciclado del agua y en la renuncia a los usos etiquetados como suntuarios. Así, al etiquetar lo que se ha percibido como dispendio y ostentación, se priva a otros del disfrute en el uso del agua, se deja de crear riqueza en el sistema económico y se aleja la atención del público y las autori-

dades de los verdaderos asuntos importantes que son el desecho del agua y la responsabilidad social compartida de su tránsito por las cuencas, donde el principal e ineficiente consumidor es la agricultura de riego (Fig. 4).

La importancia del aspecto social en los conflictos sobre agua hace necesario el estudio de dos orientaciones que divergen: la racionalidad propia de la tecnología tradicional con fines utilitarios y la interpretación inevitable del tema hidráulico como un asunto de justicia, equidad, ética y buena educación.

Se ha formado en la mente del habitante la creencia de que la vida social mejoraría si cambiara el manejo del agua en sus marcos culturales, jurídicos o tecnológicos. Esta persistencia de nociones culturales da lugar a imaginar escasez y deterioro ambiental, con su consecuente alud de reclamos dirigidos de manera errónea hacia la gestión de la hidrología de la cuenca y las políticas públicas sobre el agua.

Postulemos entonces que el interés y la percepción individual de los diversos grupos y actores sociales en La Antigua es lo que ocasiona que existan conflictos por agua en una región donde este recurso es abundante, continuo y disponible. Por eso, dado que el agua es un conjunto múltiple de productos y servicios, las claves para manejarla están en su naturaleza múltiple y dinámica, lo que debe conducirnos al análisis de los recursos hídricos en escalas amplias, en busca de opciones de acopio, cursos de acción y temporalidad en su tránsito territorial.

El análisis ejemplificado con la cuenca de La Antigua es extensible a las unidades de paisaje de todo el país, considerando las particularidades regionales de cada cuenca. La inclusión de las condiciones biofísicas y sociales propias de otras localidades puede ayudar a mostrar las claves de conflictos potenciales y reales en otras regiones de México.

Los impactos más graves del agua tienen su origen en su naturaleza transitoria. El agua es acopiada, almacenada, vertida, utilizada y revertida a cauces y tuberías, sobre todo en amplias fracciones de territorio ajenos al acceso y a la cotidianidad del usuario. Su estado cambia desde donde empieza su tránsito, en la alta montaña, hasta su desecho al mar. El agua escurre y se ensucia, estos hechos limitan su utilidad, el concepto clave es la limpieza. El bien clave es la calidad. Otras circunstancias claves son servicio y oportunidad.

Por lo anterior, los retos actuales en el manejo del agua están del lado de las ciencias humanas, de los consensos sociales, de las habilidades objetivas de comunicación, negociación y conciliación. Ya que el sesgo científico que había predominado en el análisis de la compleja problemática hidrológica ha sido rebasado, es de esperarse que los esfuerzos se canalicen ahora a la apropiación social de los conceptos claves de la naturaleza del agua, que se desarrollen estrategias verbales adecuadas, que se involucren la literatura y las formas de expresión plástica, no con fines de manipulación emotiva, sino de aprendizaje y negociación reales, entre grupos y actores sociales.

Los eventos de escasez son evidentes y manifiestos en la incomodidad que muestran las personas que tienen que recurrir a medidas extremas como acarrear agua en cubetas, pagar o recibir, de instancias públicas, camiones cisterna que les lleven agua a su colonia. Estos eventos dramáticos contrastan con el enorme dispendio que los sistemas de

riego agrícola cotidianamente usan (Hoekstra y Chapagain, 2008) y para los cuales existen remedios tecnológicos con cuya aplicación, generaría una mejora que aunque mínima en la eficiencia, multiplicaría la disponibilidad de agua potable para los hogares. Esta escasez es real, se ve en el esfuerzo por conseguir el líquido y en el deterioro de la calidad de vida de quienes viven con poca agua, no porque utilicen innovaciones tecnológicas en sistemas ahorradores, sino por subsistir sin los servicios para los que el agua es esencial. Entonces, el problema no es el de una sustancia líquida que por cierto es gratuita al caer del cielo, el problema hidrológico es la injusticia en el reparto de la riqueza, fenómeno social que se da incluso en este ejemplo tomado de la cuenca de La Antigua, donde los menos favorecidos de la sociedad también están recibiendo un menor capital cultural y de conocimiento, lo que de mejorar y adecuarse a las diversas condiciones particulares permitiría deslindarse del Estado y las instituciones que manejan el agua pública y tomar directamente toda el agua necesaria de las fuentes naturales de acceso libre y a costo mínimo, o bien modificar sus costumbres para aplicar de manera escalonada el reemplazo del agua desde usos no críticos, para usarla prioritariamente en hidratación y alimentación.

No podemos pedir de los habitantes más desafortunados en La Antigua que tengan el conocimiento y los recursos tecnológicos para el manejo del agua, como los que se tienen en Israel o en una estación espacial. Tampoco podemos esperar que los habitantes de La Antigua cambien su cultura e identidad para copiar las prácticas de ahorro extremo de agua de los nómadas de la península arábiga o el continente africano. En cambio, podemos, razonablemente, plantear la urgencia de algunos cambios en los lineamientos del desarrollo económico y cultural del pueblo mexicano y podemos también sugerir procesos comparativos que modifiquen las leyes y su aplicación en México, sobre todo en lo relativo a un mejor perfil de justicia social. Esos ajustes no modificarán la hidrología de la cuenca de La Antigua, pero sí permitirán a quienes padecen, ver que sus quejas son atendidas.

CONCLUSIONES

El agua está utilizándose libre y continuamente sin apego a mínimas nociones de racionalidad respecto a la realidad objetiva de sus inventarios y disponibilidad como sustancia esencial.

Aunque existen cantidades ilimitadas de agua, disponibles y a costo razonable, la escasez es real ante situaciones concretas en un amplio número de productos y servicios hídricos, debido sobre todo al marco cultural y a las expectativas de los usuarios.

Los conflictos a los que da lugar la noción de escasez podrían tener una solución, pero es improbable que ésta sea tecnológica o científica, es más probable que estos asuntos de percepción ocurran indefinidamente, aunque sería posible insertarlos en un esquema administrativo aceptable con algunos esfuerzos bien dirigidos a resolver, entre los actores sociales involucrados, sus asuntos de justicia, equidad y cultura.

REFERENCIAS

Aguilar Z., A. 2001. El agua, asunto de seguridad nacional. Entrevista a Adolfo Aguilar Zinzer. Nota de Juan A. Zúñiga M. La Jornada. Domingo 22 de julio de 2001, p. 10.

Aldana, A. 2001. Entrevista al Dr. Álvaro Aldana, director general del IMTA en el Foro El agua: drama de hoy, pesadilla de mañana. Nota de María Rivera. La Jornada. Domingo 10 de junio de 2001, p. 14.

Arreguín C., F.I. 2003. Situación tecnológica de México ante el reto del tratamiento de aguas residuales. *In*: J. Alvarado L. ed. Memorias del curso internacional sobre Manejo Integrado de Ecosistemas. CP-INSTRUCT-CIDA. Montecillos, México, p: 87-112.

Arriaga C., L., V. Aguilar S., J. Alcocer D., R. Jiménez R., E. Muñoz L. y E. Vázquez D. coords. 1998. Regiones hidrológicas prioritarias: fichas técnicas y mapa (Escala 1:4 000 000). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). México, D.F., p: 91-101.

Ávila G., P. 2003. De la hidropolítica a la gestión sustentable del agua. *In*: G.P. Ávila. Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI: México desde una perspectiva global y regional. El Colegio de Michoacán-SUMA-Semarnat-IMTA, p: 41-53.

Ávila G.P. (ed.). 2002. Agua, cultura y sociedad en México. El Colegio de Michoacán. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Zamora, Mich., 456 p.

Ayuntamiento de Xalapa. 2005. Apartado sobre recursos naturales locales. Iniciativas. http://www.xalapa.gob.mx

Barkin, D. (coord.). 2006. La gestión del agua urbana en México: Retos, debates y bienestar. UDG/CUCSH. Guadalajara, Jal., 336 p.

Bray, D.B., L. Merino-Pérez, P. Negreros-Castillo, G. Segura-Warnholtz, J.M. Torres-Rojo y H.F.M. Vester. 2003. Mexico's Community-Managed Forests as a Global Model for Sustainable Landscapes. *Conservation Biology* 17(3):672–677.

CMAS-Xalapa. 2000. Archivos de aforos y presupuestos para el uso y mantenimiento de la red de distribución de agua para la ciudad. Comisión Municipal de Agua y Saneamiento. Xalapa, Veracruz.

Conagua. 2004. Cuarto Foro Mundial del Agua, México, marzo de 2006, Documento conceptual. Comisión Nacional del Agua, World Water Council. México, 13 p. Http://www.aneas.com.mx/contenido/Concepto.pdf. Consultado el 26 de abril de 2010.

Davis, L.S., K.N. Johnson, P. Bettinger y T. Howard. 2000. Forest management: to sustain ecological, economic, and social values. McGraw-Hill, Nueva York. 804 p.

Del Ángel P., A.L., M.A. Mendoza B. y A. Rebolledo M. 2006. Población y ambiente en Coatepec: Valor social de la cubierta vegetal. Espiral XII (36):163-193.

De Villiers, M. 2003. Water: The fate of our most precious resource. Updated. McClelland & Stewart. Toronto, ON. 453 p.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2004. Ley de Aguas Nacionales. H. Congreso de la Unión. Tomo DCVII; núm. 22. Jueves, 29 de abril de 2004. México, DF, p: 27-95.

García M.E. 2009. Gestión de Recursos Mancomunados. *In*: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales. Monterrey, N.L. 4-7 de noviembre de 2009.

Gobierno del Estado de Veracruz. 2008. Anexo Estadístico del 4o. Informe de Gobierno.http://portal.veracruz.gob.mx/4_INFORME_GOBIERNO_ANEXO_ESTADISTICO.PDF.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2010. Tipos de vegetación presentes en México y superficie que ocupan, 2002. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/sis/sisept/glosario/default.aspx?t=mamb122&e=00&i=. Visitado el 25 de abril de 2010.

Hoekstra, A.Y. y A.K. Chapagain, 2008. Global average water footprints of primary crops (m3/ton) over the period 1997-2001. http://www.waterfootprint.org/?page=files/Productwaterfootprint-statistics. Consultado el 26 de abril de 2010.

Johns, C. 2010. El Número del Agua. National Geographic en Español, 26(4):ii.

López-Vergara, O. 2010. Foro, El Número del Agua. National Geographic en Español, 26(4):iii.

López P., C., M.J. González G., J.R. Valdez L. y H.M. de los Santos P. 2007. Demanda, disponibilidad de pago y costo de oportunidad hídrica en la Cuenca Tapalpa, Jalisco. Madera y Bosques 13(1):3-23.

Meshack, C.K., B. Ahdikari, N. Doggart y J.C. Lovett. 2006. Transaction costs of community-based forest management: empirical evidence from Tanzania. African Journal of Ecology 44(4):468-477.

Pulido A., R. 1998. Algunas propiedades físico-químicas del agua. UACH. Chapingo, México. 45 p.

Robert, J. 2002. Las aguas arquetípicas y la globalización del desvalor. *In*: P. Ávila G. Ed.. Agua, cultura y sociedad en México. El Colegio de Michoacán–IMTA, p: 33-47.

Román-Jiménez, A.R., M. Mendoza, M. Martínez, A. Velázquez, J.M. Torres y H. Ramírez. 2005. Water Management in “La Antigua” (Veracruz): A multiproduct model approach in Mexican Forestry. *In:* J. Parrota, H.F. Maître, D. Auclair y M.H. Lafond Eds. Extended Abstracts of IUFRO Division 1 World Conference. USDA/FS-CIRAD-INRA. Montpellier, France. IUFRO World Series 15:125-127.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1a. ed. digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.

Vergnes, J. 2002. Crisis del agua y acciones internacionales. *In*: P. Ávila G. ed. Agua, cultura y sociedad en México. El Colegio de Michoacán-IMTA. Zamora, Mich., p: 407-432.

Manuscrito recibido el 29 de abril de 2010.
Aceptado el 27 de marzo de 2011.

Este documento se debe citar como: Román-Jiménez, A.R., M.A. Mendoza-Briseño, A. Velázquez-Martínez, M.R. Martínez-Ménez, J.M. Torres-Rojo y H. Ramírez-Maldonado. Usos y riesgos del agua en la cuenca La Antigua, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 17(3):29-48.

Anexo 1. Lista de variables de campo.

Control	*Hidrológicas*	*Edáficas y fitográficas*	*Usos de suelo*
Fecha	Tipo de cauce	Tipo de suelo	Uso de suelo
Punto en mapas	Temporalidad del cauce	Horizontes	Manejo de la vegetación
Punto en SGP	Anchura de cauce	Pedregosidad	Manejo del cauce
Error	Línea verde (cm)	Compactación	Manejo del agua
UTM X	Velocidad del agua	Erosión	Fauna
UTM Y	Oxigenación	Estado de salud del suelo	
Corriente	Cobertura (%)	Tipo de comunidad vegetal	Tipo de camino
Localidad	Árboles muertos en pie	Estado de salud de la comunidad vegetal	Mantenimiento y obras
Altitud	Macro-residuos leñosos	Indicadores de disturbio	Drenaje del camino
Pendiente	Remansos	Sotobosque	Temporalidad del camino
Exposición	Erosión del cauce	Arbustivas	Pendiente del camino
Conglomerado	Estabilidad del cauce	Arbóreas	Uso de suelo adyacente
Componente	Estado de salud del cauce	Altura	Grado de urbanización
Tipo de cobertura		Diámetro	Obras de drenaje
		Radio de copa	Condición del camino
		Área basal (m^2)	
		Regeneración	

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Ecología y fitosanidad de los encinos (*Quercus* spp.) en la Sierra Fría, Aguascalientes, México

Ecology and phytosanitary condition of oak trees in the (*Quercus* spp.) in the Sierra Fría range, Aguascalientes, Mexico

Joaquín Sosa-Ramírez[1], Onésimo Moreno-Rico[2], Guillermo Sánchez-Martínez[3], María Elena Siqueiros-Delgado[2] y Vicente Díaz-Núñez[4]

RESUMEN

Durante los años 2007, 2008 y 2009 se condujo un estudio para evaluar la distribución y abundancia de las especies de encinos (*Quercus* spp), los factores ambientales que afectan su distribución y la identificación de los patógenos e insectos asociados a la declinación y muerte de estos árboles en la Sierra Fría, Aguascalientes. Para evaluar la distribución y abundancia se realizaron 60 inventarios de la vegetación en 60 sitios de muestreo distribuidos al azar utilizando parcelas de 600 m^2. Para la identificación de los fitopatógenos se hicieron 28 transectos, revisando 100 árboles en cada uno. Para la identificación de los insectos asociados con la declinación de los encinares se instalaron trampas de emergencia sobre el fuste de árboles con síntomas de ataque de insectos barrenadores y se tomaron muestras de fuste, las cuales se observaron en laboratorio. Se identificaron 10 especies de encinos, siendo la altitud, el relieve, la exposición del sitio y la fisiografía las variables que influyeron sobre su distribución y abundancia. Se identificaron los fitopatógenos *Phellinus robustus*, *P. gilvus*, *P. everhartii, Ganoderma lucidum* e *Hypoxylon thouarsianum*, siendo el último el más ampliamente distribuido. Se identificó al barrenador *Crioprosopus magnificus* infestando encinos vivos. La información obtenida contribuye al manejo de la Sierra Fría y se sugiere profundizar en estos estudios.

PALABRAS CLAVE:
Cerambycidae, encinos, enfermedades forestales, Sierra Fría.

ABSTRACT

A study was conducted during 2007, 2008 and 2009 to evaluate the distribution and abundance of oak species (*Quercus* spp), the environmental factors which affect their distribution, and the identification of pathogens and insects associated with oak decline and mortality in the Sierra Fria, Aguascalientes. To evaluate oak distribution and abundance, 60 plant inventories were made in 60 sampling sites randomly distributed within the landscape, using 600 m^2 plots. To identify plant pathogens 28 transects were established, inspecting 100 oak trees per transect. To identify insects associated with oak decline, emergence traps were installed on the bole of trees that show wood boring symptoms; bole sections were taken to the lab for beetle capture. Ten oak species were identified and the variables that have influence on their distribution and abundance, were elevation, relief, aspect and phys-

1 Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. jsosar@correo.uaa.mx.
Centro de Ciencias Básicas. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Omoreno@correo.uaa.mx, masiquei@correo.uaa.mx
3 INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Pabellón. sanchezm.guillermo@inifap.com.mx
4 Biodiversidad, Recursos Forestales y Suelos. Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes. vdiaz_ing@yahoo.com.mx.

iography. As plant pathogens we identified *Phellinus robustus*, *P. gilvus*, *P. everhartii*, *Ganoderma lucidum* and *Hypoxylon thouarsianum*, the last one being the more widely distributed. The oak borer *Crioprosopus magnificus* was identified, infesting live oak trees. The presence of this insect is a new report for the area of study. The information gathered in this study contributes to the management of the Sierra Fría and further studies are suggested.

KEY WORDS:
Cerambycidae, oak trees, forest diseases, Sierra Fria.

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas templados de montaña las especies de *Pinus* y *Quercus* son ampliamente dominantes en las comunidades de plantas leñosas. El género *Quercus* presenta la más amplia distribución a nivel mundial. Se reconocen dos centros de diversidad, el primero localizado en el sureste de Asia, alberga poco más de 120 especies (Govaerts y Frodin, 1998) y el segundo centro de diversidad genética es México, principalmente en las regiones montañosas, donde comparte espacios con comunidades de coníferas (Valencia, 2004). En México el número señalado de especies de encinos es variable, Nixon (1993) refiere la existencia de entre 135 y 150; por su parte, Valencia (2004) sugiere que son 161. Los encinos son de excepcional valor por la calidad de su madera, así como por múltiples usos y productos, entre otros: leña, carbón, corcho, taninos y colorantes, alimento para el hombre y el ganado (Espejel-Rodríguez *et al.*, 1999).

A pesar de su importancia, los ecosistemas templados donde se ubican los encinares están disminuyendo, ya sea por causas naturales o debido a la intervención del hombre. Por ejemplo, áreas que originalmente estaban cubiertas por encinos han sido desplazadas por las actividades agropecuarias (Challenger, 1998). Por otro lado, en México, desde hace varios años se ha observado una muerte de encinos en diferentes estados, principalmente en Colima, Guanajuato, Jalisco, Nayarit y Aguascalientes (Tainter *et al.*, 2000; Kliejunas, 2005). La literatura sobre este problema en México es escasa. Tainter *et al.* (2000) señalan al oomiceto *Phytophthora cinnamomi* Rands., como el principal agente causal de la muerte de encinos en el estado de Colima. En el mismo estado, Alvarado *et al.* (2007) aislaron a *P. cinnamomi* de *Quercus elliptica*, *Q. salicifolia* y *Q. acutifolia*. Además, Alvarado *et al.* (2007) confirmaron que *P. cinnamomi* fue el causante de muertes masivas de encinos en Teconapa, Guerrero, siendo los más dañados *Q. elliptica* y *Q. salicifolia*. Asimismo, en la Sierra de Lobos, Guanajuato, Vázquez *et al.* (2004) encontraron que la combinación de los hongos ascomicetos *Nectaria galligena* e *Hypoxylon thouarsianum* fueron los que causaron más muerte en encinos. En el estado de Aguascalientes, desde hace varios años se ha estado observando enfermedad y muerte de encinos. Antes de morir los árboles presentan muerte descendente de las ramitas, amarillamiento, muerte y caída de las hojas y presencia de cancros en el tallo y ramas. Al respecto, Alvarado *et al.* (2007), realizaron estudios sobre el declinamiento de encinos en Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco y Nayarit. En el caso de la Sierra Fría, en Aguascalientes, reportaron la presencia del hongo ascomiceto *Hypoxylon atropunctatum* y de la planta superior parásita *Phoradendron villosum* afectando a encinos y al oomiceto *Pythium* en el suelo. A pesar de lo anterior, es importante conocer si existen otros agentes causantes de enfermedad y muerte de encinos en dicha zona.

Referente a los insectos coleópteros barrenadores de encinos vivos en México, Cibrián *et al.* (1995) mencionan a *Tylcus hartwegii* (White) (Coleoptera: Cerambycidae) que se alimenta de ramas de *Quercus* spp., en el estado de Nuevo León, algunas especies no identificadas de *Agrilu*s (Coleoptera: Buprestidae) que se alimentan de ramas de hasta 8 cm de diámetro. En el este de Estados Unidos, el barrenador del encino rojo (*Enaphalodes rufulus* Haldeman) (Coleoptera: Cerambycidae) ataca encinos vivos y participa en el complejo de factores contribuyentes a la declinación y muerte de los encinos (Lawrence *et al.,* 2002; Heitzman *et al.,* 2007). Durante el presente estudio, en 2006 se detectaron síntomas de barrenadores afectando encinos vivos en la Sierra Fría, Aguascalientes, razón por la cual se abordó su estudio.

OBJETIVOS

Caracterizar la distribución y abundancia de las comunidades de encinos en un área de la Sierra Fría, Aguascalientes.

Identificar a los agentes patógenos causantes de la muerte de los encinos y la distribución espacial de la enfermedad.

Conocer el agente causal de barrenación de los encinos en la Sierra Fría, Aguascalientes.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

El estudio abordó tres aspectos: la distribución y abundancia de las comunidades de encino, los microorganismos patógenos asociados y la detección de plagas que afectan a los encinares. El estudio se realizó dentro de la zona forestal del Área Natural Protegida Sierra Fría y algunos sitios circunvecinos.

Distribución y abundancia de especies de encinos

Para caracterizar la distribución y abundancia de las especies de encinos se seleccionó un polígono de 25 mil hectáreas, representativo de la vegetación arbóreo-arbustiva de la Sierra Fría, ubicado en las coordenadas 102°31'31" a 102°37'44" Longitud Oeste y 22°05'47" a 22°14'03" Latitud Norte. En el marco de este polígono se elaboró un plan de muestreo estratificado. Los estratos considerados fueron: altitud, geoforma y exposición. El estrato de la altitud se determinó usando cuatro clases: (2200-2400, 2400-2600, 2600-2800 y > 2800) msnm; las geoformas consistieron en sitios cóncavos y convexos; para la exposición del terreno se contemplaron las orientaciones N, S, E, O y sus combinaciones. Se realizaron 60 inventarios de la vegetación en igual número de sitios ecológicos, mismos que fueron determinados al azar. Los muestreos se realizaron en parcelas rectangulares de 600 m^2, con una línea central de 100 m de longitud y dos líneas laterales de 3 m cada una. En cada uno de los inventarios se determinó la frecuencia de las especies existentes, midiendo tanto variables dasométricas convencionales de la vegetación, como variables ambientales. Los árboles fueron aquellos individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 5 cm y altura mayor o igual a 1,50 m. Las variables ambientales consideradas incluyeron la altitud sobre el nivel del mar (asnm), la pendiente (en %), la exposición del terreno (N, S, E, W), la fisiografía (planicie, lomerío, meseta, ladera media, ladera alta, fondo de barranco, arroyo) y la geoforma del sitio. A la par se registraron variables de manejo, tales como el tipo de utilización del terreno y la intensidad del aprovechamiento, variables consideradas como responsables de la distribución de varias especies forestales. Cada uno de los

puntos muestreados fue georreferido en Unidades Transversales de Mercator (UTM) y plasmado en una imagen del satélite Spot® 2003. La abundancia de cada una de las especies de encino encontradas se determinó registrando sobre una línea de 100 puntos el número de veces que una especie aparece, respecto a todas las especies de árboles encontradas en el transecto. La frecuencia relativa fue calculada de acuerdo con Krebs (1993) como se especifica a continuación:

$$f_{rel} = \frac{f(x_1)}{\sum_{i=1}^{n} f(x1)} \bullet 100$$

Donde:

f_{rel} = Frecuencia relativa
$f(x_i)$ = Frecuencia de la especie
x_i = frecuencia absoluta obtenida en los muestreos
n = Número total de especies

Posteriormente se generó un índice de abundancia usando la fórmula:

Donde:

$$IA_{spp} = \frac{\sum frel}{m}$$

$IA_{Spp.}$ = Índice de abundancia de cada uno de los encinos identificados
M = Número de sitios muestreados

Distribución de las enfermedades, identificación e incidencia de los fitopatógenos

Durante julio de 2007 a marzo de 2009 se realizaron 28 recorridos de estudio en diferentes localidades de la Sierra Fría, Aguascalientes. En cada uno de los sitios visitados se realizó un transecto, de dimensiones variables, en una dirección determinada al azar, que incluyó la revisión de 100 árboles y la identificación de fitopatógenos y enfermedades que causan. Los porcentajes de incidencia de árboles dañados por los diferentes organismos fitopatógenos u oportunistas se obtuvieron contando el número de árboles afectados a lo largo del transecto de dimensiones variables, que tuvo como límite 100 árboles.

La identificación de los fitopatógenos se basó en los síntomas y signos, basidiomas y ascomas, presentes en los árboles enfermos. Para los hongos poliporoides, en el laboratorio se emplearon las técnicas tradicionales propuestas por Gilbertson y Ryvarden (1986), Gilbertson y Ryvarden (1987) y Ryvarden (1991). Para la identificación de los hongos ascomicetos se tomaron las características de los estromas y ascomas señaladas por Ju-Ming y Rogers (1996) y Swiecki y Bernhardt (2006). La descripción de síntomas y signos encontrados en los encinos fueron comparados con los reportados en la bibliografía especializada para la identificación del agente causante de las enfermedades (Gilbertson y Ryvarden, 1986; Gilbertson y Ryvarden 1987; Ryvarden, 1991, 2000; Ju-Ming y Rogers, 1996; Swiecki y Bernhardt, 2006; Cibrián *et al.* 2007).

Determinación del agente causal de barrenación en encinos

En octubre de 2006 se detectaron los primeros síntomas de un barrenador de encinos en el área de estudio. El 13 de noviembre de 2006 se derribaron dos árboles con síntomas de barrenación activa en “La Angostura” (22°05’57” N y 102°41’49”). El fuste se seccionó con una motosierra, encontrando dos larvas de Cerambycidae. Con base en lo anterior,

durante 2007 a 2009 se instalaron trampas de emergencia, construidas con malla mosquitera pegadas al fuste de árboles con síntomas de ataque de un barrenador, para capturar especímenes adultos y proceder a su identificación, Además de instalar trampas en el sitio de detección inicial de los síntomas, se mantuvieron trampas dentro del Centro de Educación Ambiental e Investigación “Los Alamitos”, ubicado a 22°10’28” N y 102°35’15” W y en el predio “La Sauda”, ubicado a 21°58’53” N y 102°34’6” W (Sánchez-Martínez *et al.*, 2010). La frecuencia de revisión de las trampas en los tres años fue quincenalmente durante el mes de mayo, semanalmente durante junio y quincenalmente durante julio y agosto, tomando como referencia la biología de *E. rufulus* (Fierke *et al.*, 2005) y *Crioprosopus magnificus* (Solomon, 1995). En complemento, cada año se tomaron muestras de secciones de fuste de encinos infestados, las cuales se mantuvieron en observación bajo condiciones de laboratorio, buscando obtener especímenes adultos. Para la identificación de la especie de insecto barrenador se utilizó literatura especializada, entre esta citamos a Hovore (1983) y Solomon (1995) y se contó con el apoyo de Steven W. Lingafelter (Systematic Entomolgy Laboratory, Plant Sciences Institute, ARS, USDA) quien mediante el análisis de fotografías de los especímenes corroboró la especie (Sánchez-Martínez *et al.*, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución y abundancia de especies forestales

En los 60 sitios analizados se identificaron las siguientes especies de encinos: *Quercus potosina, Q. eduardii, Q. sideroxyla, Q. rugosa, Q. resinosa, Q. chihuahuensis, Q. coccolobifolia, Q. laeta, Q. grisea* y *Q. microphylla,* dentro de las 17 reportadas previamente para Aguascalientes (De la Cerda, 1989). Estas especies esporádicamente se encuentran en comunidades puras y por lo general se encuentran asociadas con cedros o táscates (*Juniperus deppeana*), madroños (*Arbutus xalapensis* y *A. glandulosa*), manzanita (*Arctostaphylos pungens*) y pinos (*Pinus* spp.). De las 10 especies identificadas, *Q. potosina* posee la distribución más amplia, habiéndose encontrado en 62% de los sitios muestreados. En el polígono analizado, los encinos rojos *Q. sideroxyla* y *Q. eduardii* poseen el segundo y tercer lugar, respectivamente, en su representación en el paisaje. Las especies con menor distribución son *Q. coccolobifolia* y *Q. resinosa* (Tabla 1).

De las especies de encinos identificadas en el polígono de estudio, tres son las que presentan una abundancia importante con una amplia representación en el paisaje forestal de la Sierra Fría. Asumiendo que los sitios muestreados son representativos del paisaje de la Sierra Fría, la abundancia máxima que una especie podría tener es 60, eso significa que esa misma especie contribuye en un 100% a la diversidad de un sitio ecológico y eso se manifiesta en los 60 sitios. De esta manera, los encinos más abundantes en el paisaje de la Sierra Fría corresponden a *Q. potosina*, seguido en orden de importancia por los encinos rojos *Q. eduardii* y *Q. sideroxyla*. Los encinos blancos, *Q. rugosa* y *Q. chihuahuensis*, están bien representados, aunque con una distribución restringida a las barrancas y sitios húmedos. Las especies que presentan una población reducida son *Q. coccolobifolia* y *Q. resinosa* (Fig. 1).

Tabla 1. Especies de encinos y su frecuencia en los muestreos realizados en la Sierra Fría, Aguascalientes. También se muestran las especies asociadas a cada especie de encino.

Especie	*Núm. de sitios*	*Frecuencia**	*Especies asociadas*
Quercus potosina Trel.	37	61,6	*J. deppeana, Arctostaphylos pungens, Q. chihuahuensis, Pinus teocote*
Q. eduardii Trel.	20	33,3	*Q. sideroxyla, Q. rugosa, P. leiophyla, Q. chihuahuensis*
Q. sideroxyla Humb. et Bonpl.	14	23,3	*Q. rugosa, P. leiophyla, Q. chihuahuana, P. teocote*
Q. grisea Liemb.	11	18,3	*J. deppeana, Dodonaea viscosa, A. pungens*
Q. rugosa Née	7	11,6	*P. leiophyla, Q. chihuahuensis, Q. sideroxyla, J. deppeana*
Q. chihuahuensis Trel.	7	11,6	*Q. rugosa, Q. sideroxyla, P. teocote, P. leiophyla, Q. eduardi, J. deppeana*
Q. laeta Liemb.	5	8,3	*J. depppeana, P. teocote, A, pungens, P. leyophyla*
Q. microphyla Née	3	5,0	*Q. potosina, Q. sideroxyla, Q. rugosa, Q. chihuahuensis*
Q. coccolobifolia Trel.	2	3,3	*P. lumholtzii, J. Deppeana, J. durangensis, P. leiophyla, P. durangensis*
Q. resinosa Liemb	1	1,0	*Dodonaea viscosa, A. pungens, Q. grisea*

* Frecuencia = (No de sitios) (100)/total de muestreos.

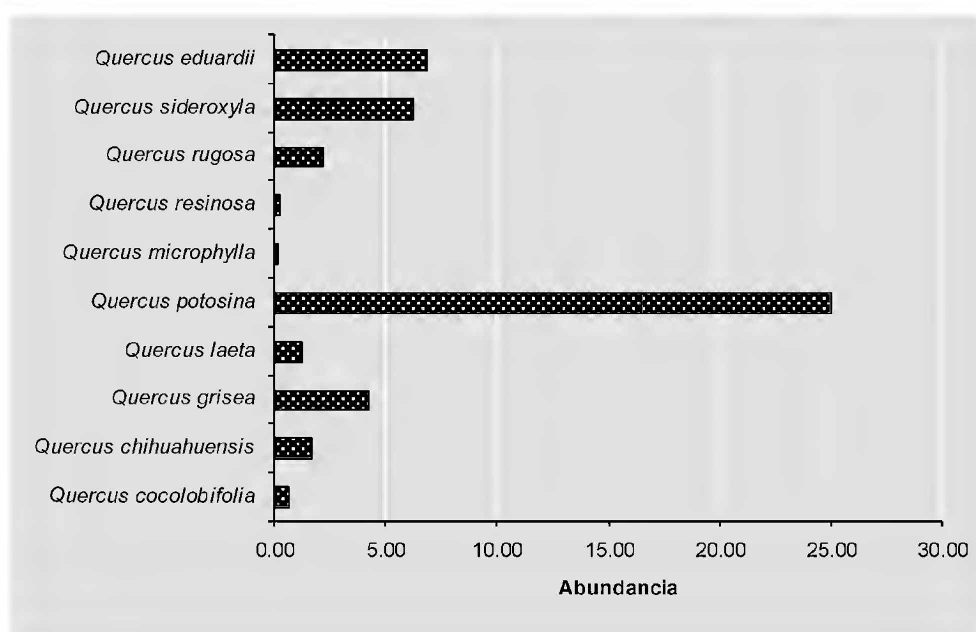


Figura 1. Abundancia de las especies de encinos identificadas en un polígono de 25 km^2 en el ANP-Sierra Fría, Aguascalientes. El eje de las X constituye el índice de abundancia, que oscila entre 0,1872 (*Q. microphylla*) y 25 (*Q. potosina*). El valor máximo del índice de abundancia podría ser 60.

Relación de las variables ambientales con la distribución y abundancia de especies forestales. Altitud y posición topográfica

El análisis de la distribución de los encinares en diferentes gradientes altitudinales sugiere que solamente una especie, *Q. grisea*, aparece en el primer estrato, aunque de manera aislada. Esta misma especie es abundante en el segundo estrato. *Quercus potosina* es la especie que más estratos altitudinales ocupa, pues se encuentra desde los 2200 hasta los 2800 msnm. Los estratos de 2400-2600 y 2600-2800, son donde mayor cantidad de especies se encuentran, probablemente debido a que en esta zona existe una mayor precipitación o a que las actividades de manejo (principalmente pastoreo) son distintas a las zonas planas y de altitudes menores. Especies como *Q. resinosa*, *Q. coccolobifolia* y *Q. laeta*, restringen su distribución a un solo estrato altitudinal (Tabla 2).

Factores implicados en la distribución de especies forestales

De acuerdo con el Análisis de Correspondencias Canónicas, existió una relación significativa entre las variables ambientales consideradas como responsables de la distribución de la vegetación y las especies de encinos detectadas (prueba

Tabla 2. Distribución altitudinal de las especies de encinos y sus principales especies asociadas en el área estudiada, dentro de la Sierra Fría, Aguascalientes.

	ALTITUD (m x 1000)															
ESPECIES	A1				A2			A3			A4			A5		
	1.9	2	2.1	2.19	2.2	2.3	2.39	2.4	2.5	2.59	2.6	2.7	2.79	2.8	2.9	3
Quercus potosina					▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨			
Quercus resinosa					▨	▨	▨									
Quercus eduardii					▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨			
Quercus rugosa								▨	▨	▨	▨	▨	▨			
Quercus chihuahuensis								▨	▨	▨	▨	▨	▨			
Quercus sideroxyla								▨	▨	▨	▨	▨	▨	■	■	■
Quercus cocolobifolia												▨	▨	▨		
Quercus grisea	■	■	■	■	▨	▨	▨									
Quercus laeta											▨	▨	▨			

NOTA: las barras con franjas en gris indican que esa especie es abundante en los niveles altitudinales donde se le encontró. Por el contrario, las franjas en negro, indican que si bien, esa especie no es abundante, si se encontró en las altitudes marcadas, pero en bajas densidades.

de Montecarlo *F*=3,58; *P* = 0,040). En el eje 1 las variables involucradas fueron la posición cóncava, la exposición norte, la fisiografía en bajo de ladera y la explotación dedicada principalmente a la cacería cinegética (explotación 7), variables relacionadas principalmente a sitios húmedos y barrancas. En el eje 2, las variables con mayor peso fueron las pendientes ligeras (1%–5%) y explotaciones moderadas. El eje 3 mostró el menor peso solamente con una relación muy ligera entre la intensidad de manejo tipo 4 y las especies forestales incluidas en este eje. El eje 4 incorporó principalmente a variables relacionadas con el uso del terreno y la intensidad con que estas se realizan (Tabla 3).

Las especies de encinos identificadas se agruparon de acuerdo con las variables ambientales consideradas como responsables de su distribución y abundancia. De esta manera, *Q. coccolobifolia* es una especie que se distribuye entre los 2500 y los 2700 msnm, es raro encontrar esta especie en terrenos planos y con pendientes ligeras. Por otra parte, los encinos blancos (*Q. chihuahuensis* y *Q. rugosa*), se distribuyen entre los 2400 y los 2600 msnm, en lugares con pendientes medias y ligeras, en exposiciones orientadas hacia el norte y con fisiografías en bajo de ladera. Los encinos rojos (*Q. sideroxyla* y *Q. eduardii*) se localizan en sitios con exposiciones norte, en laderas medias y bajas, en altitudes entre 2500 y 2700 msnm y en sitios húmedos y con coberturas de dosel superiores a 50% (Tabla 4).

Distribución de las enfermedades, identificación e incidencia de los fitopatógenos

***Phellinus robustus* (Karst.) Bourd. et Galz., *Phellinus gilvus* (Schw.) Pat. y *Phellinus everhartii* (Ell. & Gall.) A. Ames.** Se identificaron tres especies de hongos basidiomicetos del género

Tabla 3. Coeficientes de correlación obtenidos entre los ejes canónicos y las variables ambientales, obtenidos mediante ACC en el paisaje de la Sierra Fría, en Aguascalientes, Méx.

Variables ambientales	*Correlaciones de las variables ambientales en los ejes canónicos*			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
Cóncava	0,8551			
Pendiente 5		0,4158		
Exposición Norte	0,655			
Terreno plano	-0,3099			
Bajo de ladera	0,6032			
Utilización 1				0,5448
Intensidad 1	0,3487			
Intensidad 4			0,239	
Explotación1		0,5405		
Explotación 2				0,455
Explotación 7	0,5314			
Explotación Múltiple	-0,3629			

Tabla 4. Índices de correlación entre las especies de encinos identificadas y las variables ambientales que influyen en su distribución en el paisaje.

V. ambientales	*Q. coco*	*Q. chihua*	*Q. grisea*	*Q. laeta*	*Q. poto*	*Q. res*	*Q. rug*	*Q. siderox*	*Q. eduar*
Altitud 2			-0.2438						
Altitud 3	-0,990*		0,6781	-0,6574			0,9883		0,2476
Altitud 4			-0,4974	0,9075		-0,7374	-0,7374		
Altitud 5			-0,2028	-0,2028				0,7635	
Cóncava			-0,6181	0,3549	-0,4055	-0,6731		0,6731	
Convexa		-0,4542	0,672	-0,4357		1,0418	-0,9599		
Terreno plano	-0,5135					-0,5135			-0,5135
Pendiente 1	-0,6995	0,4211				-0,6995	0,7125		-0,6524
Pendiente 2							0,6597		
Pendiente 4						-0,7464	-0,7464		0,5042
Pendiente 5							-0,2219		
Exposición Norte							0,9475	0,6605	
Exposición Sur			0,4946						
Exposición Este									
Exposición Oeste				0,7599					
Planicie	-0,5135				0,498	-0,5135		-0,5135	-0,5135
Terreno plano	-0,4844				0,4552	-0,4844			-0,4844
Media ladera						-0,8865	-0,7593		
Bajo de ladera		0,7627						0,8913	
Cobertura 2	0,781**		0,8625						
Cobertura 4	-0,6687		-0,6136			-0,6687		0,468	0,7244
Uso 1								0,5845	
Uso 3		0,7046					0,9426		
Uso múltiple			0,5124	0,4453					
Intensidad 1			-0,418	-0,4769				0,863	
Intensidad 5	-0,6398	-0,6398	0,7914					-0,6398	
Explotación 1								0,5392	
Explotación 3	-0,7299					-0,7299	-0,6636		
Explotación 7								0,6385	
Explotación múltiple						-0,79			

Q. coco= Quercus coccolobifolia; Q. chihua = Q. chihuahuensis; Q. poto = Q. potosina; Q. res = Q. resinosa; Q. rug =Q. rugosa; Q. siderox = Q. sideroxyla; Q. eduar = Q. eduardii; * Los índices de correlación negativos, indican que esta especie difícilmente se distribuirá en las variables ambientales que generaron estos índices.; **Los índices de correlación positivos, indican que esta especie es altamente influida en su distribución, por la variable ambiental analizada.

Phellinus: *P. gilvus*, *P. robustus* y *P. everhartii*, mismas que causaron pudrición blanca del duramen de los encinos y formación de cancros, de diversas longitudes y profundidades, al afectar la albura. Los basidiomas de *P. robustus* fueron localizados en dos encinos de *Q. potosina*, en la Barranca de Juan Francisco, del municipio de San José de Gracia, Aguascalientes. También fueron encontrados en dos árboles de *Q. eduardii* y en uno de *Q. sideroxyla* en Mesa del Águila del municipio de San José de Gracia, en un árbol de *Q. Potosina,* agonizando y caído, en la localidad llamada Huarache, municipio de Calvillo, Aguascalientes, y en un árbol de *Q. potosina* en Mesa de los Sapos del municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes (Fig. 2a). Todos los árboles de encino fueron maduros y estaban vivos. Los basidiomas de *P. gilvus* se encontraron sobre un ejemplar de *Q. eduardii* maduro y vivo en la comunidad El Ocote del municipio de Aguascalientes. *Phellinus everhartii* fue localizado en Mesa del Águila, San José de Gracia, en tres árboles maduros y vivos de *Q. potosina* y uno de *Q. laeta* (Fig. 2a). La incidencia de estas enfermedades varió de 0% a 15% (Fig. 2A). Las tres especies de *Phellinus* encontradas en este estudio fueron localizadas en árboles maduros. Al respecto, Swiecki y Bernhardt (1990) explican que el declinamiento de árboles maduros usualmente se asocia con la infección de diferentes hongos que pudren la madera, en el tronco, ramas principales y/o en el sistema radicular, mismos que entran a través de heridas. Si el árbol es resistente y capaz de aislar la infección causada por el hongo, el patógeno puede ser detenido y la pudrición limitada. Si ocurre lo contrario, el hongo continúa la pudrición durante muchos años. Finalmente, desprovisto de su estructura y tejidos conductores de agua, el encino puede colapsar por su propio peso o deshidratarse en un periodo de alta demanda de agua y morir.

***Ganoderma lucidum* (W. Curt. ex Fr.) Karst.** Este hongo basidiomiceto patógeno fue encontrado en árboles, jóvenes y maduros, vivos y muertos, de *Q. potosina* en La Angostura y Sierra Brava del municipio de Jesús María y en Los Alamitos y Mesa del Águila del municipio de San José de Gracia, causando pudrición blanca en la base del tallo y raíces de los encinos, así como la formación de cancros (Fig. 2b). La incidencia de la enfermedad causada por este patógeno fue de 0% a 10% (Fig. 2b). Cibrián *et al.* (2007), mencionan que este hongo afecta a coníferas y árboles latifoliados en los bosques naturales, pero que su importancia es reducida. A pesar de lo antes señalado, Swiecki y Bernhardt (1990) mencionan que *G. lucidum* no solo es un patógeno importante sino letal en encinos maduros, tanto en áreas silvestres como en zonas urbanas de California, EU. En California, Hickman y Perry (2003) señalan que este patógeno puede afectar a especies de los géneros *Acacia*, *Pinus*, *Populus*, *Fraxinus* y *Salix*, entre otros, y a los siguientes frutales: manzano, cerezo, cítricos, olivo, durazno, entre otros, a los cuales inclusive puede matar en un periodo de 3 a 5 años.

***Hypoxylon thouarsianum* (Lèveillè) Lloyd.** Este hongo ascomiceto fue localizado sobre árboles jóvenes, maduros, vivos y muertos de *Q. potosina, Q. rugosa, Q. sideroxyla* y *Q. eduardii*, en Los Alamitos, La Congoja, Barranca de Juan Francisco, Mesa del Águila y Barranca Piletas del municipio de San José de Gracia; también en Mesa Tendida, Monte Grande, del municipio de Rincón de Romos; y en La Angostura, Barranca Verde, La Ciénega y El Huarache del municipio de Calvillo, Aguascalientes. La incidencia de este

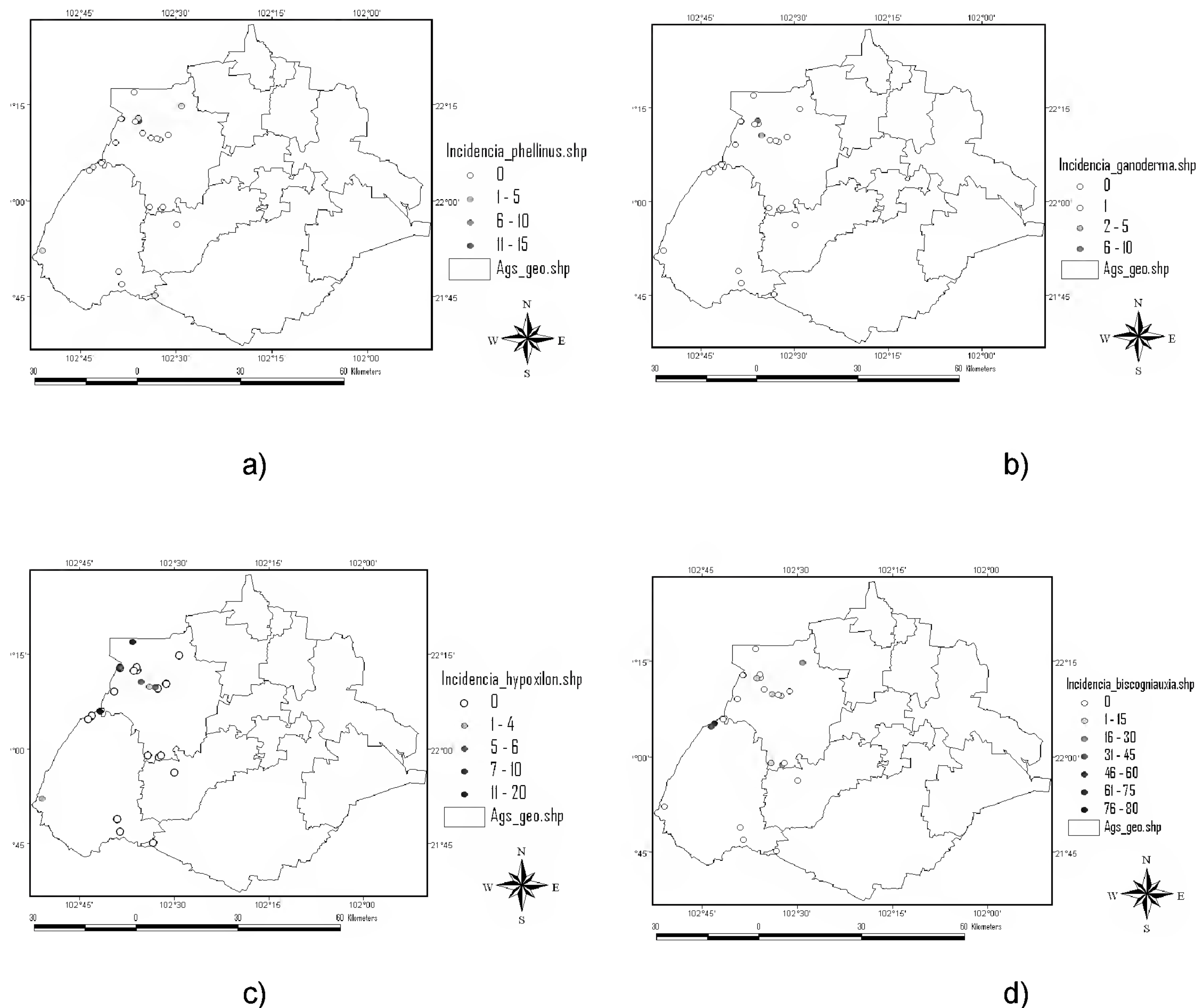


Figura 2. Distribución e incidencia (%) de a) *Phellinus* spp., b) *G. lucidum*, c) *H. thouarsianum* y d) *B. atropunctata* en los encinares del estado de Aguascalientes. Los archivos vectoriales fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

hongo varió de 0% a 20% (Fig. 2c). Este hongo ascomiceto también causa pudrición blanca y cancros en los diferentes órganos de los árboles afectados. En un estudio realizado en la Sierra de Lobos, Guanajuato, Vázquez *et al.* (2004), encontraron que los principales agentes biológicos responsables de la declinación de los bosques de encino son el efecto combinado de *Nectria galligena* y *H. thouarsianum*, quienes actúan en sinergia causando una fuerte micosis con un comportamiento agresivo.

***Biscogniauxia atropunctata* (Schwein.: Fr.) Pouzar**. Este hongo ascomiceto se encontró en árboles jóvenes, maduros, vivos y muertos, principalmente de *Q. potosina* en La Sauda del municipio de Jesús María, en Barranca Piletas y La Congoja del municipio de San José de Gracia, en El Tejamanil y El Pilar del municipio de Calvillo y Mesa de los Sapos del municipio de Rincón de Romos (Fig. 2d). Además, en menor grado, en árboles adultos de *Q. eduardii*. La incidencia de este hongo fue de 0% a 80%. Este fitopa-

tógeno causó pudrición blanca en ramas y tallos de los encinos. También forma cancros, al inicio pequeños, cubiertos por un polvo café que corresponde a las conidias de la fase asexual de *Periconiella atropunctatum* Sacc., posteriormente el hongo forma un estroma gris o plateado sobre los tejidos dañados que tienen una apariencia fibrosa, donde se forman los peritecios de la fase sexual (*B. atropunctata*). Cibrián *et al.* (2007) señalan que este hongo se ha encontrado asociado con la muerte de encinos, atribuida en algunos casos a *Phytophthora cinnamomi*, en Aguascalientes, Colima, Guerrero, Nayarit y Puebla.

Agente causal de barrenación en encinos

Durante el estudio se capturaron 40 ejemplares de insectos adultos, la mayoría de ellos obtenidos de las trampas instaladas en los fustes de los encinos, los cuales fueron identificados como *Crioprosopus magnificus* LeConte (Coleoptera: Cerambycidae) (Sánchez-Martínez *et al.*, 2010) (figuras 3 y 4). Con excepción de un ejemplar que emergió de *Q. eduardii*, todos los especímenes emergieron de *Q. potosina*, por lo que se considera que esta especie es el principal huésped del insecto en el área de estudio. Detalles sobre la biología, incidencia y distribución geográfica de *C. magnificus* fueron publicados por Sánchez-Martínez *et al.* (2010).

CONCLUSIONES

Se identificaron 10 especies forestales arbóreas y arbustivas correspondientes al género *Quercus*. *Quercus potosina* y *Juniperus deppeana* son las más ampliamente distribuidas, ambas especies, en orden invertido, son las más abundantes. La altitud, los relieves (geoformas), la exposición solar y la fisiografía son las variables

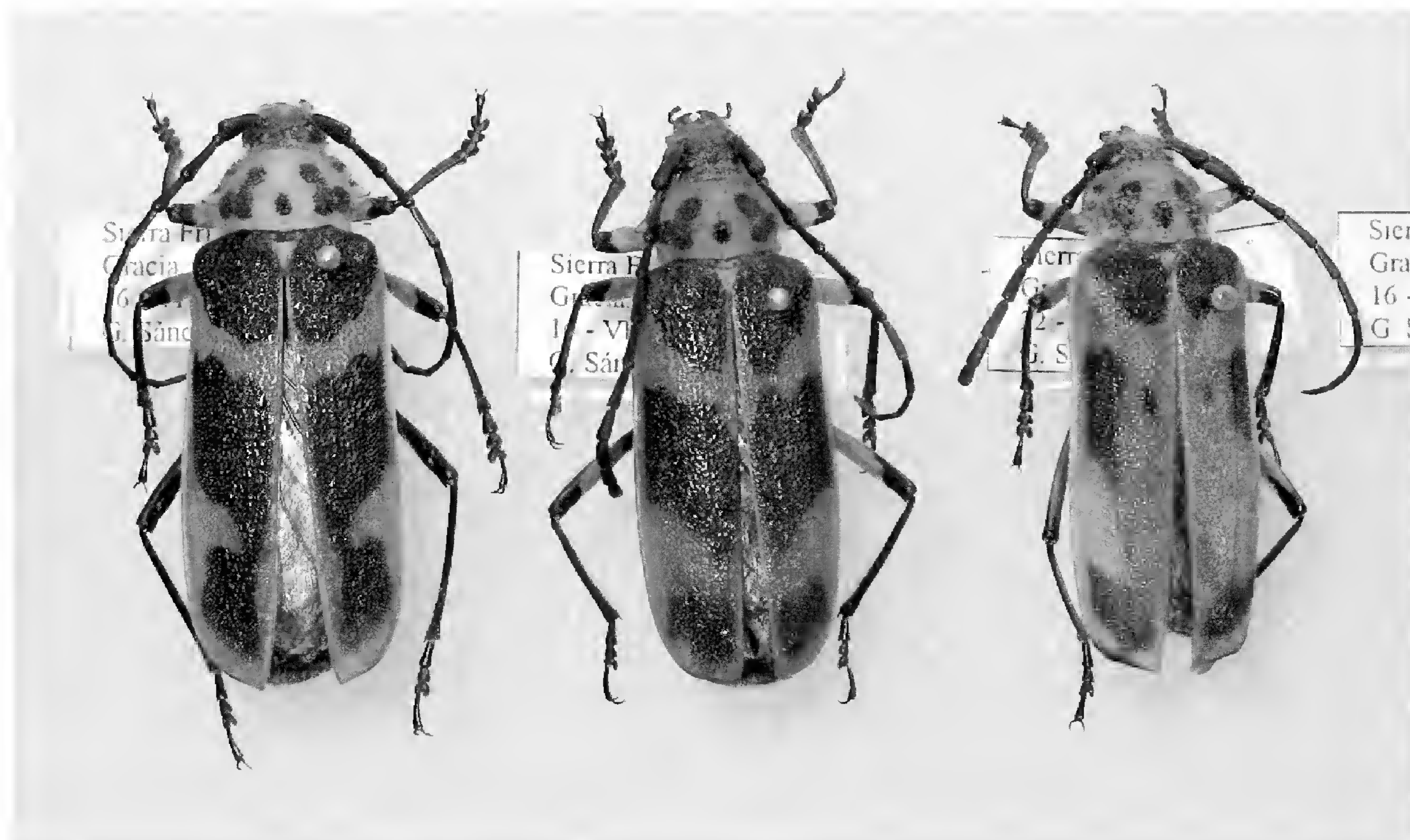


Figura 3. Ejemplares hembra de *Crioprosopus magnifucus*, emergidas de *Quercus potosina* en Sierra Fría, Aguascalientes.



Figura 4. Ejemplares macho de *Crioprosopus magnificus*, emergidos de *Quercus potosina* en Sierra Fría, Aguascalientes.

que más influyen sobre la distribución y abundancia de la vegetación. Se sugiere profundizar la investigación a nivel regional, en especies cuya distribución es restringida a sitios muy específicos, tales como *Q. coccolobifolia* y *Pinus lumholtzii*. Se identificó a *Phellinus robustus*, *P. gilvus* y *P. everhartii* afectando encinos vivos y maduros. En encinos vivos, muertos, jóvenes o maduros se identificó a *Ganoderma lucidum*. Se identificaron también a los hongos oportunistas *Hypoxylon thouarsianum* y *Biscogniauxia atropunctata* en árboles estresados por factores abióticos o bióticos. *Hypoxylon thouarsianum* fue el hongo con mayor distribución en el paisaje. *Quercus potosina* es la especie frecuentemente más dañada. Se reportó la presencia del barrenador *Crioprosopus magnificus* en la Sierra Fría con una afectación que varía desde 0% hasta 75% de los encinos vivos. El periodo de emergencia de este insecto es en el mes de junio, a principios de la temporada de lluvia, y hay por lo menos dos generaciones traslapadas. El principal hospedero de *C. magnificus* es *Q. potosina*, Se recomienda abundar estudios sobre su biología, ecología, contribución en el declinamiento de los encinos y manejo bajo el contexto propio del ecosistema en que se encuentra.

RECONOCIMIENTOS

Este estudio fue apoyado financieramente por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Aguascalientes (Fondos mixtos AGS-2005-C01-15087). Agradecemos al Instituto del Medio Ambiente del estado de Aguascalientes por el apoyo en transporte y personal de campo y a Sierra Fría, Aguascalientes A.C., por el apoyo logístico y las facilidades de trabajo en campo. Los autores

reconocemos también el apoyo recibido por Francisco Juárez Reyes en el trabajo de campo para la sección de fitosanidad. Nahum Hernández, Alejandro Torres, Sergio Esparza, Luis Alberto Hernández, Diego Pérez Salicrup y Jorge Morfín, quienes asistieron en el levantamiento de información sobre ecología y distribución de los encinos. Se agradece a Clemente Villalobos por sus facilidades de hospedaje en Rancho Piletas.

REFERENCIAS

Alvarado R., D., L. de L. Saavedra R., A. Almaraz S., B. Tlapal B., O. Trejo R., J.M. Davidson, J.T. Kliejunas, S. Oak, J.G. O'Brien, F. Orozco T. y D. Quiroz R. 2007. Agentes asociados y su papel en la declinación y muerte de encinos (*Quercus*, Fagaceae) en el centro-oeste de México. Polibotánica 23:1-21.

Alvarado-Rosales, D., L.L. Saavedra-Romero y A. Almaraz-Sánchez. 2008. Primer Reporte de *Phytophthora cinnamomi* Rands., asociado al encino (*Quercus* spp.) en Tecoanapa, Guerrero, México. Agrociencia 42(5):565-572.

Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre. México.

Cibrián T., D., J.T. Méndez-Montiel, R. Campos-Bolaños, H.O. Yates III y J.E. Flores-Lara. 1995. Insectos Forestales de México/Forest Insects of Mexico. Universidad Autónoma Chapingo. México, 391 p.

Cibrián T., D., R.D. Alvarado y D.S.E. García. 2007. Enfermedades Forestales en México/Forest Diseases in Mexico. UACH; Conafor-Semarnat, México; Forest Service USDA, EUA; NRCAN Forest Service, Canadá y Comisión Forestal de América del Norte, COFAN, FAO. Chapingo, México, 587 p.

De la Cerda L., M. 1989. Encinos de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México, 84 p.

Espejel-Rodríguez, M.M.A., N. Santa Cruz-García y M. Sánchez-Flores. 1999. El uso de los encinos en la región de La Malinche, estado de Tlaxcala, México. Bol. Soc. Bot. México 64:35-39.

Fierke, M.K., D.L. Kinney, V.B. Salisbury, D.J. Crook y F.M. Stephen. 2005. Development and comparison of intensive and extensive sampling methods and preliminary within-tree estimates of red oak borer (Coleoptera: Cerambycidae) in the Ozark Mountains of Arkansas. Environmental Entomology 34:184-192.

Gilbertson, R.L. y L. Ryvarden. 1986. North American Polypores. Vol. 1 Abortiporus-Lidtneria, Fungoflora Oslo. Noruega, 433 p.

Gilbertson, R.L. y L. Ryvarden. 1987. North American Polypores. Vol. 2 Abortiporus-Lidtneria, Fungoflora Oslo. Noruega, 452 p.

Govaerts, R. y D.G. Frodin. 1998. World checklist and bibliography of Fagales (Betulaceae, Corylaceae, Fagaceae and Tycodendraceae). Royal Botanical Gardens, Kew. Inglaterra, 407 p.

Heitzman, E., A. Grell, M. Spetich y D. Starkey. 2007. Changes in forest structure associated with oak decline in severely impacted areas of northern

Arkansas. South. J. Appl. For. 31:17-22.

Hickman, W.G. y E.J. Perry. 2003. Wood decay fungi in landscape trees. Pest Notes. University of California, UC-IPM. USA. Publicación 74109, 4 p.

Hovore, F.T. 1983. Taxonomic and biological observations on southwestern Cerambycidae (Coleoptera). The Coleopterists Bulletin 37:379-38.

Ju-Ming J. y D.J. Rogers. 1996. A revision of the genus *Hypoxylon*. The Mycological Society of America. Memoir No. 20. APS Press. St. Paul, Minnesota, EUA, 382 p.

Kliejunas, J. 2005. Oak decline investigations in Mexico. A cooperative effort. USDA Forest Service, Forest Health Protection. Pacific Southwest Region, Vallejo. http://www.google.com.mx/search?hl=es&site=Search&q=Oak+decline+investigations+in+Mexico.+A+cooperative+effort.+USDA+Forest+Service%2C+&btnG=Buscar&meta=

Krebs, C.K. 1993. Factors that limit distributions: Dispersal. *In:* C.K. Krebs (ed.), Ecology. John Whiley and Sons, pp. 41-56.

Lawrence, R., B. Moltzan y K. Moser. 2002. Oak decline and the future of Missouri's forests. Missouri Conservationist. July issue, pp. 1-8.

Nixon, K.C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. *In*: T.P. Ramammoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford, University Press. Nueva York, pp. 447-458.

Nixon, K.C. 2003. Fagaceae. *In*: N. Smith, S.A. Mori, A. Henderson, D.W. Stevenson y S. Heald (eds.). Families of Neotropical Flowering Plants. Princeton University Press. Princeton, N.J., pp. 156-158.

Ryvarden, L. 1991. Genera of Polypores. Nomenclature and taxonomy. Sinopsis Fungorum 5. Fungoflora, Oslo. Noruega, 349 p.

Ryvarden, L. 2000. Studies in Neotropical polypores 2: a preliminary key to Neotropical species of *Ganoderma* with a laccate pileus. Mycologia 92:180-191.

Sánchez-Martínez, G., O. Moreno-Rico y M.E. Siqueiros-Delgado. 2010. *Crioprosopus magnificus* LeConte (Coleoptera: Cerambycidae) in Aguascalientes, Mexico: biological observations and geographical distribution. Coleopterists Bulletin 64:319-328.

Solomon, J.D. 1995. Guide to insect borers in North American broadleaf trees and shrubs. USDA. Forest Service. Agriculture Handbook AH-706, pp. 294-476.

Swiecki, T.J. y E.A. Bernhardt. 1990. A Delicate balance: Impacts of diseases and insects on the health of California oaks. Fremontia 18:58-63.

Swiecki, T.J. y E.A. Bernhardt. 2006. A field guide to insects and diseases of California oaks. Gen. Tech Rep. PSW-GTR-197. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 151 p.

Tainter, F.H., J.G. O'Brien, A. Hernández, F. Orozco y O. Rebolledo. 2000. *Phytophthora cinnamomi* as a cause of oak mortality in the state of Colima, Mexico. Plant Dis. 84(4):394-398.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Modelación del contenido de agua de los suelos y su relación con los incendios forestales en la Sierra Madre Occidental de Durango, México

Modeling of the water content of soils and its relation with wild fires in the Mountain Sierra Madre range of Durango, Mexico

José de Jesús Návar Cháidez[1]

RESUMEN

Las técnicas que predicen el riesgo de incendios forestales utilizan un submodelo hidroclimático. En esta investigación se probaron los efectos de la precipitación, de la evaporación medida en tanques (Et), de la evapotranspiración potencial estimada, Etp) y del contenido de humedad del suelo (θ), con el número de incendios y la superficie forestal incendiada del estado de Durango, México. Para el cálculo de Etp y de θ se aplicó un modelo físicamente basado en la estimación del balance del agua de los suelos forestales que se alimenta con variables climáticas, de cobertura forestal, edafológicas y de ponderación. Además, se relacionó el fenómeno climático El Niño con las variables de los incendios forestales previamente señalados. La humedad del suelo estimada con el modelo hidrológico resultó ser mejor predictora del número de incendios y de la superficie forestal incendiada que los factores climáticos simples. El índice del fenómeno climático El Niño, expresado durante noviembre-diciembre del año inmediatamente anterior, explica por arriba del 30% en la superficie forestal incendiada durante la etapa seca de enero-mayo de los bosques templados. Se recomienda emplear el modelo físico de suelos forestales como parámetro hidrológico porque se encuentra estrechamente relacionado con la humedad de los combustibles en la estimación del riesgo de incendios forestales en los bosques templados.

PALABRAS CLAVE:
Balance hídrico de suelos, distribución binomial negativa, modelos físicamente basado, número de incendios, superficie forestal incendiada, regresión.

ABSTRACT

Mathematical techniques that predict the risk of forest fires use a hydro-climatic sub-model, which is generally fed with simple climatic variables such as rainfall, potential evapotranspiration, or the air relative humidity. In this research we report the effect of rainfall, pan evaporation (Et), and potential evapotranspiration (Etp), and the soil moisture content (θ), were related with the number of annual forest fires and the area annually burned by forest fires in the state of Durango, Mexico. A hydrologic, mass balance, physically-based model that feeds on climate, soil and plant cover variables as well as weighting factors was employed to calculate Etp and θ. In addition, the El Niño index was statistically related to the forest fire variables described above. The θ variable resulted to be better related than the simple climatic variables to the number of forest fires and the area burned by forest fires. El Niño index expressed during the November-December phase of the year t-1 explains above

[1] CIIDIR-IPN Unidad Durango. Sigma s/n Col. 20 de Noviembre II. Durango, Dgo. 34220. México. jnavar@ipn.mx

30% of the total burned area variation during the dry season of January-May of temperate forests. It is recommended to use the soil moisture content estimated by the water balance as predictor variable in the fire risk assessment of temperate forests.

KEY WORDS:
Water balance of soils, negative binomial distribution, physically based model, numbers and area burned by forest fires, regression.

INTRODUCCIÓN

El cálculo del área incendiada futura, la intensidad y comportamiento del fuego y otras características de los incendios forestales son fenómenos complejos. Los principios básicos indican que para que exista un incendio forestal se necesita de: *a)* combustibles con bajo contenido de humedad, *b)* oxígeno provisto por el aire, *c)* la fuente de ignición (Johnson y Miyanishi, 2001).

Estos componentes han sido compilados en las nuevas tecnologías de predicción del número y superficie forestal incendiada, de tal manera que actualmente existen diversos modelos en la literatura universal para predecir el riesgo de incendios forestales, dentro de los cuales destacan: *a)* el Canadian Forest Fire Danger Rating System (http://fire.cfs.nrcan.gc.ca); *b)* el Sistema Integrado de Italia (Fiorucci *et al.,* 2004); *c)* el Instituto Meteorológico Portugués (Bugalho y Pessanha, 2007), *d)* el Sistema CFS-Conafor para México (Conafor, 2008), entre otros. Todos los sistemas incluyen generalmente dos componentes, el índice meteorológico y el sistema de previsión del comportamiento del fuego.

El índice meteorológico incluye generalmente los parámetros de humedad de los combustibles ligeros, del humus y de sequía, entre otros parámetros que generalmente se integran en uno solo. Estos valores de manera normal se extrapolan de datos climatológicos provenientes de registros instrumentales, dentro de los cuales se incluyen: mediciones diarias de temperatura, la humedad relativa del aire, la velocidad y dirección del viento y la precipitación acumulada durante 24 horas (http://fire.cfs.nrcan.gc.ca). Sin embargo, pocos estudios consideran los balances hidrológicos con componentes o submodelos físicamente basados como variables de entrada en el subsistema climático para predecir el riesgo de incendios forestales en un bosque determinado (Lawson *et al.,* 1997). Por esta razón, la investigación tuvo los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

Probar si las variables Etp y θ, provenientes de un balance hidrológico, proveen mejores estimadores del número de incendios y de la superficie forestal incendiada, que los factores climáticos convencionalmente empleados.

Probar el efecto climático de El Niño, en las variables de incendios señaladas anteriormente para el estado de Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Durango, México. Se localiza en la porción centro–norte de México (Fig. 1), dentro de las coordenadas extremas, en su posición septentrional, 22º35' LN y 104º50' LW; en su zona oriental 24º44' LN y 22º58' LW; en su posición más al norte 26º83' LN y 104º27' LW y en su posición occidental 23º52' LN y 107º21' LW. Colinda por el norte con los estados de Chihuahua y Coahuila; al este con Coahuila y Zacatecas, al sur con Zacatecas y Nayarit y al oeste con Sinaloa y

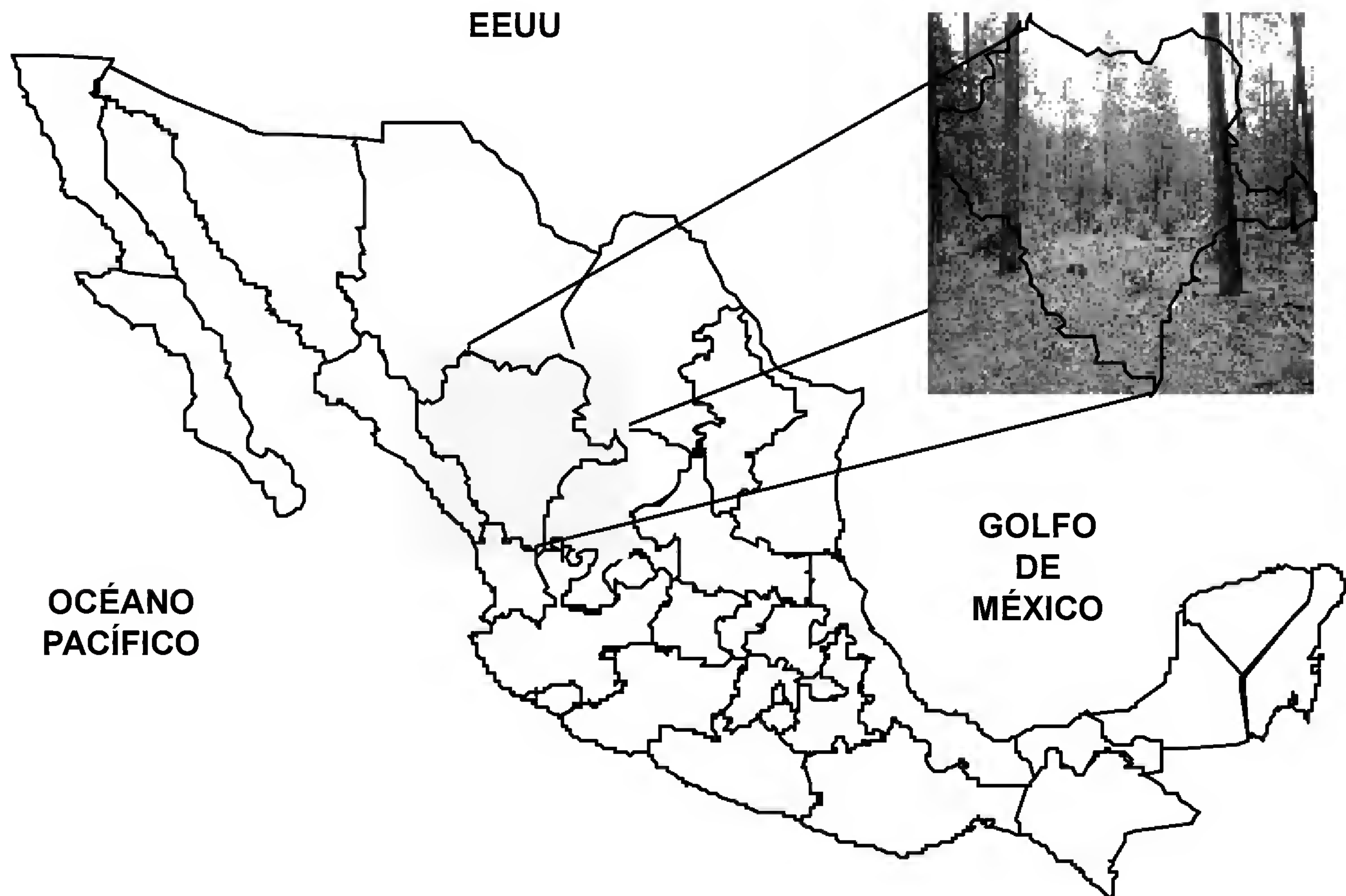


Figura 1. Ubicación del estado de Durango en México.

Nayarit. Se encuentra dentro de tres regiones fisiográficas: *a)* la vertiente del Océano Pacífico, *b)* la Sierra Madre Occidental y *c)* el desierto chihuahuense (INEGI, 2010).

Por su posición geográfica, su ubicación central en el país, la cercanía del Océano Pacífico y la presencia de la Sierra Madre Occidental y el Altiplano Mexicano, el estado de Durango posee una variedad de climas que van desde los áridos (BS) al centro-este del estado, los semiáridos (BS) en la región de los valles centrales y en la vertiente del Océano Pacífico, los semicálidos ((A)C) en la región del desierto chihuahuense y la vertiente del Océano Pacífico, hasta los templados (C) en la Sierra Madre Occidental, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (García, 1987).

Los tipos de vegetación dominantes son los bosques templados (4 700 000 ha) seguido de los matorrales (2 900 000 ha), los pastizales (1 000 000 ha), la agricultura (1 300 000 ha), las selvas bajas (500 000 ha) y la superficie restante (2 000 000 ha) de otros tipos de vegetación. Los suelos predominantes son los litosoles (37%), los regosoles (30%) y los xerosoles (12%). Esto se debe fundamentalmente a la topografía accidentada del territorio, a la geología y a la aridez del clima.

El balance hídrico

Se calcularon los cambios de agua para los suelos forestales de la Sierra Madre Occidental. Estos se pueden estimar por diversas metodologías, aquí se utilizó un ejemplo de un método físico indirecto,

clasificado como Técnica del Balance de Masas (Viessman *et al.,* 2007). La entrada del agua por la lluvia que se almacena en el suelo es el excedente de la precipitación que logra traspasar la barrera de la intercepción. El agua excedente se utiliza para humedecer el suelo y cuando éste se satura, el agua por arriba de la capacidad de campo puede escurrir súper o sub-superficialmente y una parte puede percolarse hacia el acuífero. Las pérdidas del agua precipitada fueron clasificadas en este estudio por: *a)* la intercepción y *b)* la evapotranspiración, aunque en algunos casos la intercepción es tratada como parte de la evapotranspiración. La precipitación excedente, menos las pérdidas por escorrentía superficial y subterránea resulta en *c)* los cambios en el almacenamiento del agua del suelo. El suelo posee un almacén de agua dado por el sistema poroso; el exceso de agua o el agua gravitacional es aquella que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de saturación o con menos de 33,3 kPa (menos de 1/3 de bar) de presión; puede escurrir sub-superficialmente hacia el río o se percola hacia las capas profundas del suelo por la presencia de estructuras macroporosas para contribuir a la recarga de acuíferos. La ecuación del balance de masas dentro del suelo se presenta en los modelos [1], [2], [3], [4] y [5].

$$E - S = \frac{\partial A}{\partial t}; E = P \qquad [1]$$

$$S = (I + Ev + Tr + Qs + Qp); Et = (Ev + Tr) \qquad [2]$$

$$P - (I + Et + Qs + Qp) = \frac{\partial A}{\partial t} \qquad [3]$$

$$Q = Qs + Qp; \qquad [4]$$

$$Q = P - (I + Et) \pm \frac{\partial A}{\partial t} \qquad [5]$$

La precipitación, P, es la entrada del agua, E, al ecosistema y se registra normalmente en pluviómetros. La salida del agua fuera del suelo, S, se da por la interceptación, I, la evapotranspiración, Et, que es la suma de la evaporación del agua del suelo, Ev, y la transpiración, Tr, y la escorrentía superficial, Qs, y la percolación profunda que llega al acuífero, fuera de la zona de las raíces, Qp. La interceptación, I, es el agua que se utiliza en humedecer la vegetación y el mantillo y regresa a la atmósfera sin haber contribuido al aumento de la humedad del suelo. Esta es una pérdida de agua y en este caso se estima con el modelo modificado de Gash *et al.* (1995), cuya ecuación se presenta en el modelo [6]

$$\sum_{j=1}^{n+m} I_j = n(c)P'_G + (c\overline{E}_c / \overline{R}) \sum_{j=1}^{n} (P'_{Gj} - P'_G) \qquad [6]$$

$$+ (c) \sum_{j=1}^{m} P_{GJ} + qS_c + p_t \sum_{j=1}^{n-q} P_{GJ}$$

Donde:

c= proporción del suelo sin cobertura forestal.

Ec= la tasa de evaporación del agua interceptada.

R= la intensidad de la lluvia sobre la cobertura.

P'_G= cantidad de lluvia necesaria para iniciar la redistribución de la lluvia sobre el suelo.

Q= la precipitación de lluvias que no sobrepasan P'_G.

S_c= la cantidad de agua necesaria para saturar la cobertura.

P_t= la proporción de la lluvia que es escorrentía cortical.

Los detalles de este modelo se pueden revisar en Návar y Bryan (1994) y Návar *et al.* (1999 y 1999a) y los parámetros para bosques mixtos, bosques de encino y bosques de pino se pueden consultar en Návar (2011; 2011a).

Un estimador de Et se calcula midiendo convencionalmente la evaporación en evaporímetros y la ponderación (Etp), se calcula con un factor de evaporación en tanques (Et), un factor climático (Fc), un factor de cobertura forestal (Ftv) y finalmente con el almacén de agua del suelo dado por los contenidos iniciales de agua del suelo (θi), el contenido de agua del suelo al punto de marchitamiento permanente (θ_{pmp}) y el contenido del agua del suelo a la capacidad de campo (θ_{cc}), a partir del modelo [7]:

$$Etp = \frac{Ln\left[100 \cdot \frac{\theta_i - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}}\right]}{Ln(101)} \cdot Et \cdot Fc \cdot Ftv \quad [7]$$

El modelo [7] estima la evapotranspiración potencial, la cual está regulada por el contenido del agua del suelo y el tipo de cobertura forestal. Los detalles y factores de ponderación de la ecuación [7] se pueden encontrar en libros básicos de física de suelos (Hillel, 1980). Las formas de estimar estos parámetros son también parte de la física de suelos.

El contenido final del agua del suelo, en forma proporcional, se estima a partir del balance hídrico, donde $\theta_i = \theta_{i-1} \pm$ [Precipitación$_{i-1}$ – Intercepción$_{i-1}$ – Etp]; i-1 se refiere al tiempo inmediato anterior, que para este propósito en la escala temporal diaria es del día anterior.

El modelo se alimentó con los siguientes parámetros del suelo: profundidad del suelo = 30 cm, contenido del agua del suelo al punto de marchitamiento permanente (θ_{pmp}) = 0,15; contenido del agua del suelo al punto de la capacidad de campo (θ_{cc},) = 0,45, y contenido del agua del suelo al punto de saturación de la porosidad del suelo (θ_s) = 0,50; con el parámetro climático de factor de conversión de Etp a Etr, Fc, = 0,95; el parámetro de vegetación (Ftv) = 1,25; y los parámetros de la interceptación (c) = 0,058; E_c = 2,64; R = 12,66; P'_G = 0,25; q = 0,058; S_c = 0,135; P_t = 0,039.

Los datos de la superficie y número de incendios forestales para el periodo de 1992 a 2006 se encontraron disponibles para relacionarlos con los parámetros resultantes, específicamente con el número de días que θ se encuentra por debajo de cierto límite, como un indicador de la sequía o del contenido de agua de los suelos y por lo tanto de la vegetación y del mantillo o combustibles que se encuentran en contacto con el suelo. Se utilizó la variable número de días con un θ por debajo de cierto umbral x durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo. Este periodo es el de mayor presencia de incendios en Durango, dada una combinación de bajas precipitaciones acompañadas por fuertes vientos secos que reducen la humedad de los árboles, mantillo y suelos muy rápidamente.

El número y superficie forestal incendiada se relacionaron con el valor de θ, con ecuaciones lineales y no lineales para determinar la ecuación de mejor ajuste. Se describen las ecuaciones y los estadísticos de ajuste coeficiente de determinación, error estándar y nivel de significancia probabilística.

Fulé y Covington (1997) reportaron datos sobre el número de incendios para los bosques templados del centro de

Durango, México, para el periodo de 1945 a 1993. Esta información se utilizó también en la prueba de bondad de ajuste del valor estimado de θ por el balance hídrico. Los datos de Fulé y Covington (1997) presentaron n = número de incendios forestales = 15, 12 y 9 que quemaron: *a)* al menos un árbol, *b)* al menos 10% del arbolado y *c)* al menos 25% de los árboles presentes en un rodal. Se utilizó la distribución binomial negativa para estimar el número de años en los cuales existen incendios forestales para varios niveles de humedad.

La distribución binomial negativa

El número X de ensayos realizados para producir k aciertos o éxitos, en un experimento binomial negativo se denomina variable aleatoria con una distribución binomial negativa. Si una repetición de eventos independientes resultan en un acierto o éxito, con una probabilidad p o en un fallo o fracaso con una probabilidad q = 1-p, entonces la distribución de probabilidad de la variable aleatoria X, descrita como el número del intento en el cual ocurre el k-ésimo éxito o acierto es:

$$nb(x;r,p) = \binom{x+r-1}{r-1} p^r q^x \qquad [8]$$

La esperanza matemática y la varianza de la distribución binomial negativa nb(x; 1, p) están dadas por:

$$E(x) = \mu = \frac{r(1-p)}{p} \qquad [9]$$

y

$$V(x) = \sigma^2 = \frac{r(1-p)}{p^2} \qquad [10]$$

La distribución binomial negativa estima los años en los cuales se presentan los incendios forestales con variantes en la variable θ proveniente del modelo hídrico. Los datos estimados por la distribución y los observados por Fulé y Covington (1997) sirvieron para determinar si θ explica parte de la variación aleatoria de los incendios forestales presentados en la fracción de la Sierra Madre Occidental de Durango, México.

Además, se ajustaron regresiones lineales y no lineales a los datos del número de incendios forestales y la superficie forestal incendiada con los factores climáticos simples (precipitación total anual, precipitación estacional acumulada (enero-mayo), evaporación, evapotranspiración y evapotranspiración ponderada estacional). Los datos de precipitación provienen generalmente de pluviómetros y los datos de evaporación provienen de evaporímetros de la estación climática El Salto, Durango, México. Los datos de Et y Etp provienen del modelo hídrico del balance de masas. Se utilizaron los datos climáticos de la estación de El Salto, Durango, México, porque se encuentra dentro de los bosques templados de la Sierra Madre Occidental de Durango, México. Los datos climáticos de la estación El Salto son representativos para todos los bosques templados de Durango, como se observará en los resultados. Esto sucede parcialmente porque las lluvias como las temperaturas que ocasionan la evapotranspiración ocurren principalmente por fenómenos climáticos de orden sinóptico, a escalas globales.

Además, se relacionó la superficie y el número de incendios con los eventos El Niño – Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés: El Niño-Southern Oscilation) para el periodo de referencia señalado. Se ajustaron también ecuaciones de regresión para detectar cómo la presencia de este fenómeno climático ejerce una influencia en estos fenómenos.

RESULTADOS

Los resultados anuales de la corrida del modelo con datos diarios se presentan en la tabla 1.

Los resultados muestran que la precipitación promedio anual para la región del Salto, Pueblo Nuevo, Durango, para el periodo de 1945 a 2003 es de 858 mm, de los cuales, en promedio, 94 se interceptan, 603 se evapotranspiran y 146 mm producen caudales superficiales, subsuperficiales y subterráneos. Si se consideran los caudales totales como fuentes de salida de agua de los suelos, la descarga total que sale por los ríos se aproxima a 17% de la precipitación total. Este porcentaje es consistente con aquellos valores reportados por Návar (2008) en su balance hídrico para el estado de Durango, quien calculó que los caudales superficiales explican, en promedio, 15,5% de la precipitación promedio anual para el estado. De acuerdo con estimaciones realizadas por el autor de esta investigación, entre 20% y 30% es caudal base y el restante es caudal directo. El contenido promedio del agua del suelo es de 0,28 cm cm^{-1} cuando el punto de saturación es de 0,50 cm cm^{-1} o el contenido del agua a la capacidad de campo es de 0,45 cm cm^{-1}. Del balance hídrico se extrae que los suelos permanecen la mayor parte del tiempo semisecos, con □ cercanos al punto de marchitamiento; lo que explica la alta incidencia de incendios forestales y la falta de agua en el suelo como un factor limitante en la productividad forestal.

Los resultados de las relaciones entre el valor de θ proveniente del modelo del balance hidrológico expresado como sequedad del suelo para la época de incendios forestales y del número de incendios forestales para el estado para el periodo 1990-2002 se presentan en la figura 2.

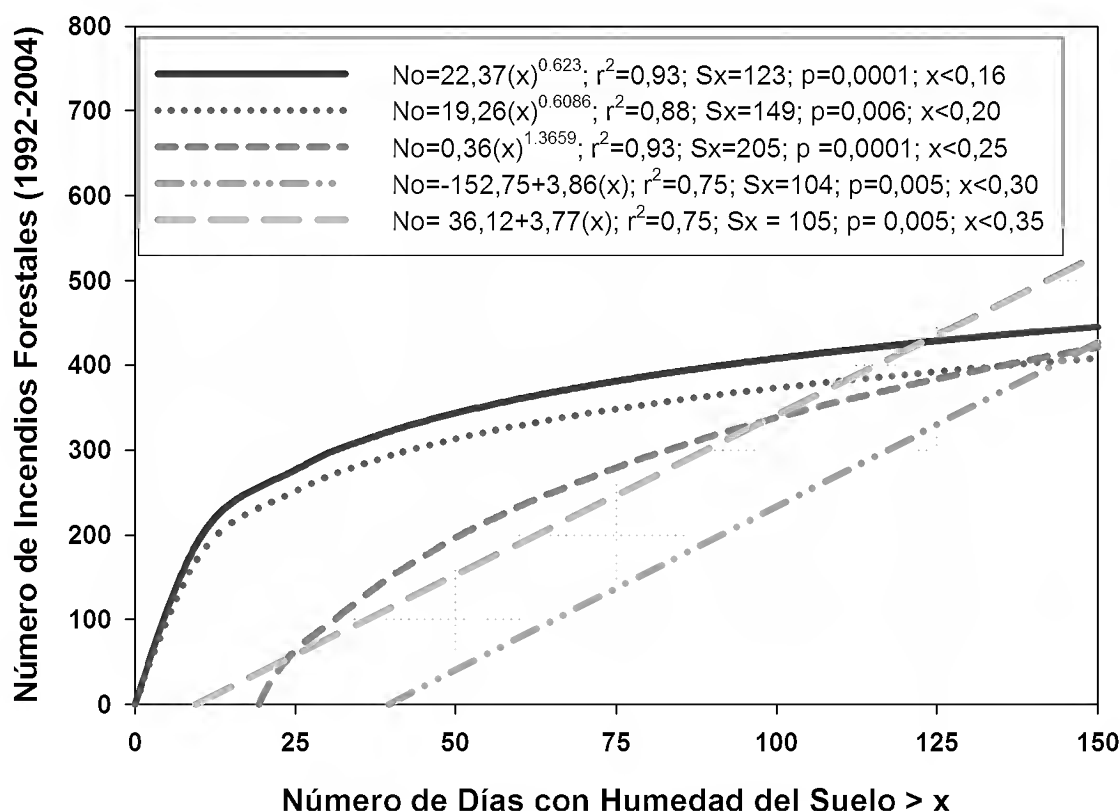


Figura 2. Relación entre el número de incendios forestales y el número de días por debajo de un valor de humedad del suelo x.

Tabla 1. Variables del balance hídrico para suelos de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, México.

Año	*Precipitación (P) (mm)*	*Interceptación (I) (mm)*	*Etp (mm)*	*Eta onderada (mm)*	*Theta (mm mm-1)*	*Q (mm)*
1945	827,50	90,80	1149,10	736,30	0,25	0,40
1946	853,70	93,70	1135,50	722,00	0,25	38,10
1947	902,40	99,00	1043,10	705,80	0,25	97,60
1948	1012,90	111,00	1130,20	861,10	0,26	40,80
1949	670,90	73,60	724,90	557,80	0,27	39,60
1952	279,40	30,70	433,90	216,80	0,20	31,90
1953	1022,00	111,90	1075,40	802,50	0,26	107,50
1954	382,50	42,00	871,10	377,00	0,20	0,00
1955	1007,50	110,30	1035,40	664,70	0,27	232,50
1956	567,00	62,20	1013,90	467,50	0,21	37,30
1957	555,00	60,80	767,80	461,50	0,23	32,60
1958	158,20	17,30	284,90	144,10	0,21	0,00
1959	457,10	50,10	814,30	386,30	0,20	20,70
1960	759,00	83,10	915,10	598,90	0,26	77,00
1961	741,70	81,20	883,50	608,40	0,26	52,20
1962	880,00	96,40	925,70	650,90	0,26	132,70
1963	1224,60	134,10	902,30	735,00	0,31	355,50
1964	782,90	85,90	785,00	712,20	0,30	0,00
1965	933,00	102,10	885,10	578,10	0,25	252,80
1966	1235,10	135,20	833,50	805,80	0,33	294,10
1967	1242,40	135,90	864,10	682,50	0,30	424,00
1968	1413,40	154,50	875,40	811,60	0,33	447,30
1969	871,80	95,40	834,50	681,00	0,29	95,40
1970	883,00	96,60	873,20	678,30	0,29	108,10
1971	705,50	77,20	929,70	604,10	0,24	24,20
1972	1073,20	117,40	939,40	675,00	0,29	280,80
1973	1044,50	114,30	906,00	756,90	0,29	173,40
1974	1066,00	116,80	779,40	548,90	0,26	400,30
1975	763,30	83,60	948,00	595,00	0,27	84,70
1976	938,50	102,70	852,80	605,40	0,28	230,40
1977	713,50	78,10	826,90	647,20	0,28	0,00
1978	1162,80	127,20	884,30	627,20	0,26	408,40
1979	643,30	70,40	674,60	453,80	0,24	119,20
1980	769,90	84,20	638,50	479,70	0,29	206,00
1981	1198,60	131,20	779,30	742,60	0,34	324,80
1983	1102,80	120,90	839,50	806,40	0,34	175,50
1984	755,20	82,90	851,30	527,20	0,25	145,10
1985	1018,40	111,60	922,10	690,80	0,28	216,00
1986	1098,00	120,30	902,10	688,70	0,28	289,00
1987	406,90	44,60	255,00	262,90	0,36	99,40
1988	868,50	95,20	999,60	713,40	0,27	59,90
1989	785,00	86,10	935,70	626,80	0,26	72,10

(finaliza Tabla 1)

Año	Precipitación (P) (mm)	Interceptación (I) (mm)	Etp (mm)	Eta onderada (mm)	Theta (mm mm-1)	Q (mm)
1990	136,00	14,90	242,00	171,70	0,26	0,00
1991	1208,50	132,30	1012,50	639,10	0,27	437,10
1992	1265,30	138,50	995,10	807,70	0,30	319,00
1993	960,80	105,20	1002,30	711,30	0,26	144,30
1994	961,70	105,40	1066,00	707,00	0,25	149,40
1995	774,10	84,80	1055,00	568,80	0,23	120,50
1996	910,80	99,80	960,90	617,90	0,25	193,20
1997	999,50	109,60	923,70	858,80	0,30	31,10
1998	660,60	72,40	926,40	597,40	0,25	0,00
1999	770,00	84,06	409,92	409,92	0,38	103,15
2000	786,50	85,83	459,03	459,03	0,40	94,36
2001	938,00	102,41	450,34	450,34	0,40	130,75
2002	943,00	102,99	525,27	525,27	0,41	112,74
2003	953,00	104,07	524,88	524,88	0,41	112,74
Promedio	857,94	93,94	829,90	602,63	0,28	145,99
Desviación	270,11	29,54	221,15	164,04	0,05	128,22
Intervalo	70,75	7,74	57,92	42,96	0,01	33,58
Coeficiente De Variación	31,48	31,45	26,65	27,22	18,24	87,83

Donde: Etp=evapotranspiración potencial (mm), Eta=evapotranspiración real (mm); Theta=contenido promedio de humedad del suelo; Q=descarga de agua del suelo.

De la información de la figura 2 se extrae que el valor de θ explica entre 75% y 93% de la variación existente en el número de incendios forestales que se presentan en el estado. Esto demuestra la bondad del balance hídrico del suelo como estimador de este tipo de eventos. De las ecuaciones regresivas se extrae que el número de incendios crece exponencialmente en suelos demasiado secos (θ <0,16 cm cm^{-1}) y linealmente en suelos poco húmedos (θ > 0,30 cm cm^{-1}). En suelos demasiado secos la ecuación alcanza una asíntota rápidamente, dada por los exponentes menores que 1,0 y se explica parcialmente por la falta de combustibles o de sistemas de ignición para continuar generando un mayor número de incendios forestales en estas condiciones de sequía. Otros factores que están dominando la asíntota pueden ser las variaciones del suelo que conllevan a mayores almacenamientos de agua que, eventualmente, necesitan de un mayor número de días con sequedad para generar un mayor número de incendios forestales. Entre estos factores se encuentran la profundidad por arriba de los 30 cm, la cantidad de rocas dentro del suelo que produce cambios importantes en los balances hídricos de los mismos, la exposición que genera tasas diferenciales de evapotranspiración, la diversidad de especies de árboles que se encuentran en el rodal y que generan también tasas diferenciales de interceptación y de transpiración.

La superficie forestal incendiada y su relación con el contenido de humedad del suelo se presentan en la figura 3. La variación en la superficie forestal incendiada explicada por los modelos de regresión varió desde 42% hasta 94%. Estos modelos fueron significativos al 0,05 para suelos con humedades promedio por arriba de 0,25 cm cm-1 y al 0,10 para suelos por debajo de 0,25 cm cm-1. La superficie forestal incendiada aumenta linealmente con el número de días por debajo de la humedad x. Las líneas se desplazan hacia la derecha con el aumento en la humedad promedio del suelo, explicando que se requiere de mayor número de días para incendiar una misma superficie forestal anual. Por ejemplo, para alcanzar las 20 000 hectáreas incendiadas, se requiere de 50, 70, 80 y 100 días con humedades del suelo promedio por debajo de (0,16; 0,20; 0,25 y 0,30) cm cm-1, respectivamente. Los modelos casi convergen cuando se incendian las 40 000 hectáreas, indicando que el contenido del agua del suelo en este rango de valores ($0,20 \leq \theta \leq 0,30$) cm cm-1, es irrelevante en estas situaciones. Otros fenómenos operando individual o colectivamente explican en conjunto con humedades del suelo por debajo de 0,30 cm cm-1 la superficie forestal incendiada. Por ejemplo, durante 1998, cuando ocurrieron estos fenómenos que incendiaron por arriba de las 40 000 hectáreas de bosques en el estado de Durango, se presentó una combinación de fuertes vientos secos provenientes del Océano Pacífico, combinado con una alta mortalidad de arbustos y árboles de algunas especies que sucumbieron a las fuertes heladas del 12 de diciembre de 1997.

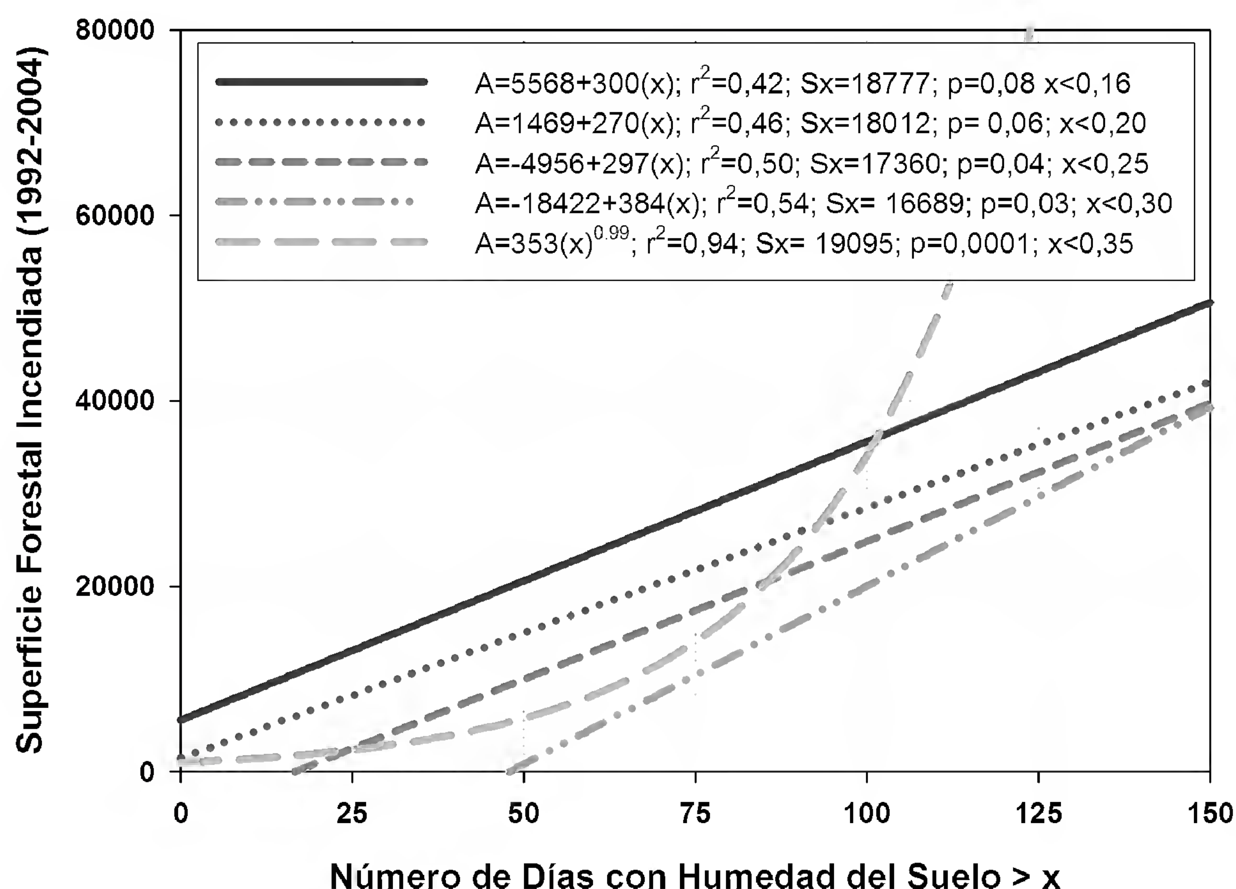


Figura 3. Relación entre la superficie forestal incendiada y el número de días por debajo de un nivel de humedad del suelo x.

Los resultados del modelo hídrico conjuntado con los datos sobre incendios forestales observados por Fulé y Covington (1997), para los diferentes contenidos de humedad del suelo, se presentan en la tabla 2. La probabilidad de la presencia de incendios con r=número de aciertos y x número de intentos necesarios para alcanzar el número de aciertos se presentan en la segunda parte de la tabla 2.

El modelo binomial negativo explica que el número de intentos para alcanzar el número de convergencia de incendios (observados y modelados) es claramente mayor (12-25) que el número de intentos observados por el modelo hídrico de predicción de la humedad del suelo (8-17). Por esta razón, probabilísticamente el modelo hidrológico explica por arriba de 66% (8/12 y 17/25) de la variación en el número de incendios forestales en Durango, México. La consistencia del modelo se observa porque el número de días con humedad del suelo menores que 0,16 explican una mayor variación de la presencia de incendios (8/15; 7/12; y 5/9) que a medida que el suelo se encuentra con un mayor contenido de humedad, q<0,20, (4/15; 4/12; y 2/9) o q<0,25, (5/15; 4/12; y 2/9).

El número de incendios y la superficie forestal incendiada no se encuentran estadísticamente relacionados con la precipitación anual o estacional, ni con la evapotranspiración anual, estacional o ponderada (Tabla 3). La escasa variación explicada por los modelos de regresión y la falta de significancia probabilística para las relaciones entre los factores del clima y el número de incendios y la superficie forestal incendiada, indican que se requiere de mayor información para poder calibrar estas asociaciones correctamente y poder justificar su presencia dentro de los modelos de riesgo de incendios forestales. Los valores anuales pueden no representar adecuadamente las condiciones climáticas presentes durante la época de incendios.

Las teleconexiones con el efecto climático El Niño, sobre la superficie forestal incendiada y el número de incendios es clara pero con una fuerte variación no explicada por las ecuaciones de regresión (Fig. 4). Los modelos lineales explican entre 15% y 38% de la variación total en el número de incendios y en la superficie forestal incendiada, respectivamente. Estadísticamente se predice de modo adecuado la superficie forestal incendiada por el fenómeno climático El Niño (p=0,03) pero no el número de incendios forestales (p=0,28). Si embargo, ambas ecuaciones poseen pendientes negativas; es decir, a medida que las aguas del Pacífico Sur Oriental se calientan por arriba de lo normal, el

Tabla 2. La distribución binomial negativa para estimar el número de aciertos, r(8, 8, y 5) con p(r) = 0,50, con probabilidades (0,995 y 0,999) de la presencia de incendios en un bosque templado de Durango, México.

Incendios observados	*Núm. de intentos, con P=0,0995 que convergen (del total) para humedades, θ*			*Núm. de intentos, con P=0,999 que convergen (del total) para humedades, θ*		
	θ<0,16	θ<0,20	θ<0,25	θ<0,16	θ<0,20	θ<0,25
15	8(17)	4(8)	5(9)	8(25	4(17	5(19)
12	7(17)	4(8)	4(9)	7(23)	4(17)	4(17)
9	5(17)	2(8)	2(9)	5(19)	2(12)	2(12)

Tabla 3. Coeficientes de determinación (la probabilidad de la significancia estadística) de la relación entre los parámetros climáticos individuales y el número de incendios y superficie forestal incendiada en el estado de Durango (n=15).

	Número de incendios	*Superficie forestal*
Precipitación anual	0,18(0,17)	0,026(0,62)
Precipitación (enero-mayo)	0,14(0,23)	0,016(0,69)
Evapotranspiración anual	0,014(0,71)	0,0012(0,91)
Evapotranspiración (enero-mayo)	0,13(0,26)	0,016(0,69)
Evapotranspiración ponderada (enero-mayo)	0,0074(0,79)	0,017(0,69)

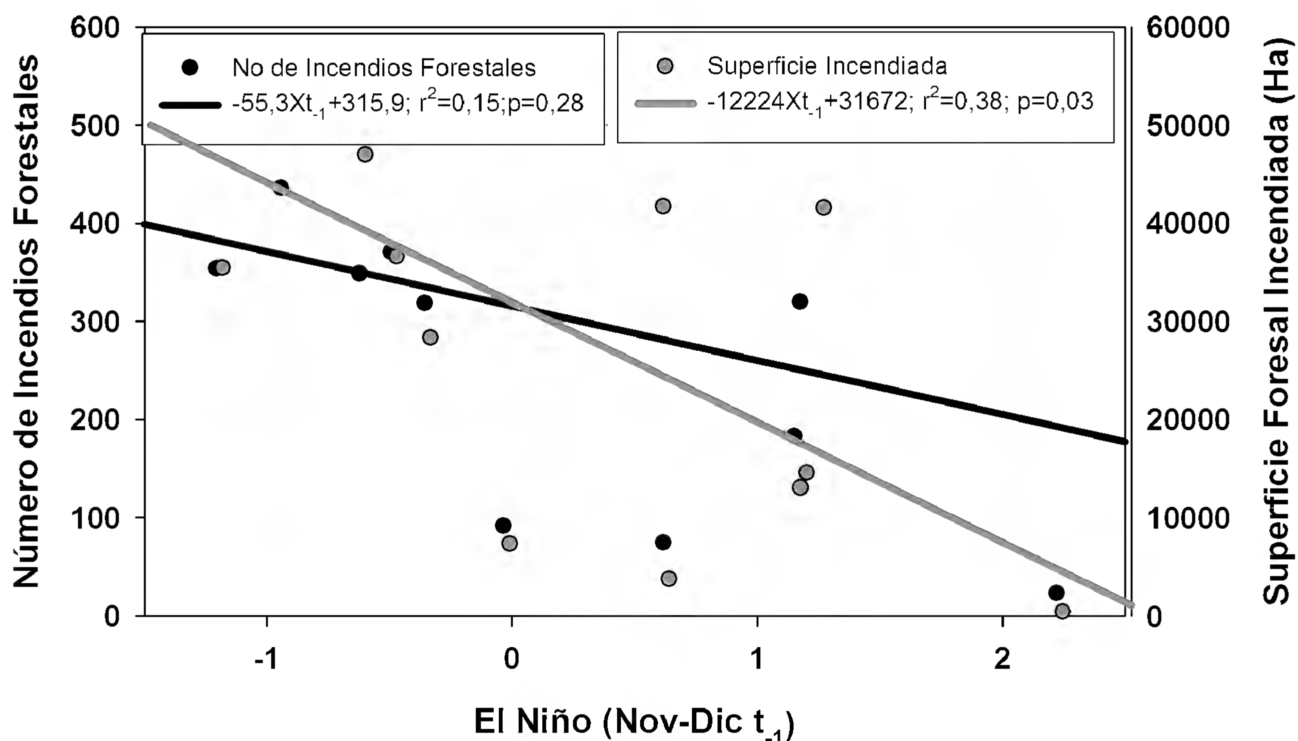


Figura 4. La importancia del fenómeno climático El Niño, sobre el número y superficie afectada por incendios forestales en Durango.

número y la superficie forestal incendiada disminuyen notoriamente hasta en un 50% del promedio. Estas condiciones resultan en teleconexiones de El Niño. En contraste, cuando se presenta un efecto La Niña, fuerte, la superficie forestal y el número de incendios forestales aumenta a las 50 000 ha y los 400 incendios forestales anuales.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que el cálculo de la humedad del suelo a través de un balance hídrico es un indicador climático más efectivo que la misma precipitación, la evaporación y la evapotranspiración, que se utilizan generalmente como parámetros de entrada en

la mayoría de los modelos de riesgo de incendios forestales. El uso de este parámetro incrementa la precisión en la proyección del número de incendios y la superficie forestal incendiada en el estado de Durango. El balance de masas, por ser un modelo físico puede extenderse a otros bosques con el simple cambio en los parámetros del suelo, de la vegetación, los factores climáticos y los factores de ponderación.

La figura 2 muestra que a medida que aumenta el número de días donde el suelo se encuentra más seco, $\theta < 0,16$ cm cm^{-1}, el número de incendios aumenta rápidamente hasta alcanzar una constante o asíntota. En contraste, a medida que el número de días donde la humedad promedio del suelo aumenta, $\theta < 0,16$ cm cm^{-1}, se requiere de un mayor número de días con estas características para que se presenten incendios forestales importantes en número y superficie. Sin embargo, la superficie forestal incendiada presenta una tendencia lineal para casi todos los rangos de humedad descritos.

Las ecuaciones de las figuras 2 y 3 predicen el número de incendios y la superficie forestal incendiada, casi convergen en aproximadamente 400 incendios por año y por las 40 000 ha incendiadas anualmente. La consistencia en la convergencia en las ecuaciones explica que existen otros factores más allá del rango de la humedad del suelo que controlan el número y la superficie forestal afectada por incendios de alta envergadura. Es posible que una vez que el θ entre por debajo de la capacidad de campo o 33,3 kPa (1/3 de bar) de succión ($\theta = 0,45$ cm cm^{-1}) el suelo y el mantillo orgánico o los combustibles que se encuentran sobre el suelo se desequen a tasas diferenciales. Si esto es así, entonces las ecuaciones muestran solo la relación entre el contenido del agua del suelo-planta y la superficie y número de incendios forestales y no de los combustibles que se encuentran sobre el suelo. Por esta razón, parte de la variación inexplicable de los modelos de regresión puede encontrarse en el tipo de incendio forestal; es decir, una clasificación más estricta de incendios de copa y de mantillo del suelo podría eventualmente mejorar la bondad de ajuste de estas relaciones estadísticas. Es posible además que la humedad del suelo sea una variable que pronostica el número de incendios y la superficie forestal incendiada potencialmente. Entonces, en rodales con presencia de combustibles forestales sobre el suelo, los incendios de mantillo serían más frecuentes y posiblemente actuarían como quemas controladas en suelos relativamente húmedos. En rodales con contenido alto de combustibles forestales con suelos extremadamente secos, los incendios de copa, y por supuesto de suelo, serían los de mayor ocurrencia.

Las ecuaciones de regresión que predicen el número de incendios forestales son no lineales, en esencia, en contraste con aquellas que predicen la superficie forestal siniestrada. Es por ello importante clasificar las funciones que predicen cualquiera de estas dos variables importantes en la toma de decisiones sobre la prevención, el control y el manejo del fuego. La no linealidad de las ecuaciones es un hallazgo importante en este tipo de relaciones, ya que es un contraste a la suposición básica de linealidad de la mayoría de los modelos que predicen el riesgo de incendios forestales, utilizando valores climáticos en el submodelo (Aguado *et al.,* 2003; Álvarez *et al.,* 2006; Sebastián *et al.,* 1999, 2000, 2007).

El balance hídrico puede utilizarse como un submodelo preliminar para la prevención de incendios forestales en la Sierra Madre Occidental. Este incluye todas las variables de entrada, salida y

cambios en el almacenamiento del agua de los suelos. Es un adelanto en contraste con los modelos utilizados en la estimación del riesgo de incendios forestales, los cuales utilizan generalmente solo variables como la precipitación y la humedad relativa del aire (Sebastián *et al.,* 2000; http://fire.cfs.nrcan.gc.ca; Hernández-Leal *et al.,* 2005). Aunque existen algunos otros modelos que incorporan otros componentes del balance hídrico, como es la evapotranspiración (Sebastián *et al.,* 1999), estos adolecen muy probablemente de falta de precisión en la estimación final del riesgo de incendios forestales.

El efecto del fenómeno climático El Niño se ha explicado por su influencia en la precipitación y la temperatura de varias regiones de la Tierra. Cuando éste se presenta en los últimos meses del año anterior y en los primeros meses del presente, generalmente durante el invierno y parte de la primavera, el norte de México es más frío y más lluvioso de lo normal (Cavazos y Hastenrath, 1990; Méndez-González *et al.,* 2008). Swetnam y Betancourt (1989) en California y Arizona y Drury y Veblen (2007) en Durango, México, observaron que los incendios de mayor variación espacial estuvieron sincronizados con eventos climáticos extremos y estos se presentaron desfasadamente con el fenómeno climático El Niño. De tal manera que durante la fase cálida del Océano Pacífico oriental, el balance hídrico de los suelos es más positivo y benévolo para la productividad forestal (González-Elizondo *et al.,* 2005; Arreola-Ortiz y Návar-Cháidez, 2010) y consecuentemente en la reducción del número y superficie que afectan los incendios forestales.

El Niño, en su fase alta, trae consigo altas precipitaciones durante el otoño del año anterior y el invierno y la primavera del presente año en muchas partes del sudoeste de Estados Unidos (Andrade y Sellers, 1988) y norte de México (Cavazos y Hastenrath, 1990; Méndez-González *et al.,* 2008) que resulta de una fase intensa y profunda del Bajo Aleutiano (un desplazamiento hacia el sur de la ruta de tormentas del Pacífico Norte), en combinación con una fuerte corriente del chorro subtropical que trae humedad directamente de la zona de convergencia intertropical en el Pacífico centrooriental (Andrade y Sellers, 1988). Como ejemplo, estas condiciones prevalecieron en Durango a finales de 1996 y principios de 1997 durante la fase más intensa de El Niño del siglo pasado, cuando se registraron inclusive aguanieves en la Sierra Madre Occidental, a principios de mayo de 1997, y se han presentado en el 2010. Después de esta etapa el clima varía a seco y cálido con ondas de frío extremo, de tal manera que, por ejemplo, para fines de 1997 se presentaron las heladas más intensas del siglo pasado, con temperaturas por debajo de los -25°C, lo que ocasionó la mortalidad de numerosas especies exóticas y algunas nativas dentro de los bosques templados, aumentando la cantidad de combustibles sobre el suelo. Vientos fuertes y secos provenientes del Océano Pacífico, una primavera seca, desfasada un año de El Niño, combinado con cantidades importantes de combustibles propiciaron los incendios forestales más intensos de los últimos 50 años, en número y superficie incendiada en Durango, México. Una combinación del balance hídrico para suelos forestales con las proyecciones del fenómeno climático El Niño, podría eventualmente mejorar las estimaciones del índice de riesgo de incendios forestales en muchos bosques de México. Aquí se presenta un avance dentro del conocimiento de la presencia de incendios de alta envergadura y en combinación con técnicas estadísticas convencionales, como los cálculos de su probabilidad de ocurrencia (Alvarado *et al.,* 1998) podrían eventual-

mente mejorar sus predicciones en tiempo y espacio. Es por esta razón que se recomienda hacer uso de estas tecnologías con la finalidad de desarrollar estrategias importantes en la prevención de incendios forestales.

CONCLUSIONES

Este reporte de investigación enfatiza la necesidad de incorporar variables climáticas y edafológicas provenientes de balances hídricos en la proyección del número y superficie forestal incendiada en Durango. Estas variables proveen mayor información en la predicción del número y superficie forestal incendiada que las variables climáticas simples convencionalmente utilizadas en los modelos de predicción del riesgo de incendios forestales. Estas variables se expresan adecuadamente en fenómenos climáticos como El Niño-Oscilación Sur, y una combinación de la proyección de esta anomalía con las variables de los modelos hidrológicos, como es el balance del agua de suelos forestales, proveerían técnicas más adecuadas para la predicción de estos siniestros en los bosques templados del planeta.

REFERENCIAS

Aguado, I., E. Chuvieco, P. Martin y F.J. Salas. 2003. Assessment of forest fire danger conditions in southern Spain from NOAA images and meteorological indices. International Journal Remote Sensing 24:1653-1668.

Alvarado, E., D.V. Sandberg y S.G. Pickford. 1998. Modelling large forest fires as extreme events. Northwest Science 72:66-75.

Andrade, A.R. y W.D. Sellers. 1988. El Niño and its effect on precipitation in Arizona and Western New Mexico. Journal of Climatology 8:403-410.

Álvarez, E., C. de la Fuente y M.A. García. 2006. Índice de riesgo de incendios forestales para Aragón. *In*: 'V Simposio Nacional de Predicción'. INM. http://www.inm.es/web/sup/ciencia/divulga/vsimposio/trabajos/pdf/C3-ZAR_Incendios.pdf. 15/11/2007.

Arreola-Ortiz, M. y J.J. Návar-Cháidez. 2010. Análisis de sequías y productividad con cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Rob & Fern y su asociación con El Niño en el nordeste de México. Investigaciones Geográficas 71:7-20.

Bugalho, L. y L. Pessanha. 2007. The forest fire risk index (ICRIF) operational process and validation. *In*: '4a Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales'. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio del Medio Ambiente. Sevilla, España, p. 8.

Cavazos, T. y S. Hastenrath. 1990. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. International Journal of Climatology 10:377-386.

Conafor (Comisión Nacional Forestal). 2008. Estadísticas de los incendios forestales en México. México, D.F.

Drury, S.A. y T.T. Veblen. 2007. Spatial and temporal variability in fire ocurrent within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. Plant Ecology 197:299-316.

Fiorucci, P., F. Gaetani y R. Minciardi. 2004. Sistema integrado para evaluar el riesgo estático y dinámico a nivel nacional de incendios forestales. *In*: '2nd Symposium on FIRE, Economics, Planning and Policy: A Global View'. Córdoba, España, pp. 1-20.

Fulé, P.Z. y W.W. Covington. 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. Acta Botánica Mexicana 41:43-79.

García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Instituto de Geografía, UNAM. México, 217 p.

Gash, J.H.C., C.R. Lloyd y G. Lachaud. 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. Journal of Hydrology 170:79-86.

González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Návar, M.S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre y J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, México: a 1681-2001 rain reconstruction. Forest Ecology and Management 213:39-53.

Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press. Londres, Reino Unido, 320 p.

Hernández-Leal, P.A., M. Arbelo y A. González-Calvo. 2005. FIRE risk assessment using satellite data. Advances in Space research 37:741-746.

http://fire.cfs.nrcan.gc.ca

INEGI (Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática). 2010. Censo de Población y Vivienda. Durango, Dgo., México. 540 p.

Johnson, E.A. y K. Miyanishi. 2001. Forest fires. Behaviour and ecological effects. San Diego, Academic Press. EUA, 412 p.

Lawson, B.D., G.N. Dalrymple y B.C. Hawkes. 1997. Predicting forest floor moisture contents from Duff Moisture Code values. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. Technology Transfer Note 6.

Méndez-González, J., J. Návar y O.V. González. 2008. Análisis de tendencias de la precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas 65:38-55.

Návar, J. y R. Bryan. 1994. Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to semi-arid shrubs in northeastern Mexico. Agricultural and Forest Meteorology 68:133-143.

Návar, J., E. Carlyle-Moses y A.M. Martínez. 1999. Interception loss from the Tamaulipan matorral thornscrub of northeastern Mexico: an application of the gash analytical interception loss model. Journal of Arid Environments 40:1-10.

Návar, J., F. Charles y E. Jurado. 1999a. Spatial variations of interception loss components by Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico. Forest Ecology and Management 124:231-239.

Návar, J. 2008. Atlas Hidrológico del Estado de Durango. Inédito, 180 p.

Návar, J. 2011. The performance of Gash's revised interception loss model in Mexico's northeastern temperate forests. Aceptado con revisiones en Hydrological Processes.

Návar, J. 2011a. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. Journal of Hydrology 408: 35-42.

Sebastián L.A., R.E. Burgan, A. Calle y A. Palacios-Orueta. 2007. Calibration of the fire potential index in different seasons and bioclimatic regions of southern Europe. *In*: '4a Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales'. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio del Medio Ambiente. Sevilla, España.

Sebastián L.A., J. San Miguel-Ayanz y G. Libertá. 2000. An integrated forest fire risk index for Europe. *In:* '20th EARSeL Symp: Remote Sensing in the 21st Century: A decade of trans European remote sensing cooperation'. Dresden, Alemania, pp. 137-142.

Sebastián L.A., G. Libertá y J. San Miguel-Ayanz. 1999. An integrated forest fire risk index for European regions. Fire Potential Index. Joint Research Centre. www.etsea2.ud1.es.

Swetnam, T.W. y J.L. Betancourt. 1989. El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomena and forest fires in the Southwestern United States. *In*: J.L. Betancourt y A.M. MacKay (eds.). 1990. Proceedings of the Sixth Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop. March 5-8, 1989. California Department of Water Resources, Interagency Ecological Studies Program. Technical Report 23.

Viessman, W.J., G.L. Lewis y J.W. Knapp. 2007. Introduction to Hydrology. 4a. ed. Harper & Row. Nueva York, EUA, 780 p.

Manuscrito recibido el 7 de enero de 2009.
Aceptado el 28 de mayo de 2010.

Este documento se debe citar como: Návar Cháidez, J.J. Modelación del contenido de agua de los suelos y su relación con los incendios forestales en la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Madera y Bosques* 17(3):65-81.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham., en condiciones de vivero

Growth variability in seedlings of eight provenances of *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham., in nursery conditions

Héctor Mario Benavides-Meza[1], Maira Oriana Gazca Guzmán[2], Stephanie Fabiola López López[2], Francisco Camacho Morfín[1], Diana Young Fernández Grandizo[2], María del Pilar de la Garza López de Lara[3] y Felipe Nepamuceno Martínez[3]

RESUMEN

Abies religiosa presenta una amplia distribución en la República Mexicana pues se extiende desde Sinaloa y San Luis Potosí hasta Puebla y Tlaxcala e incluso se encuentran poblaciones de esta especie en Guatemala. En el Valle de México se ubica en las zonas montañosas que rodean al mismo y sus bosques tienen una gran importancia ecológica y social, pues estas masas arboladas forman parte del bosque periurbano del Área Metropolitana de la Ciudad de México. No obstante lo anterior, estos sitios arbolados están sujetos a un grave deterioro por lo que es necesario buscar alternativas para su restauración. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variación en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias bajo condiciones de vivero, para lo cual se utilizó un diseño experimental de ocho bloques al azar con 64 repeticiones. Los parámetros que se evaluaron fueron diámetro en la base del tallo y altura, en mediciones que se efectuaron trimestralmente durante un período de 10 meses. Las plántulas de la procedencia San Nicolás Coatepec presentaron los mayores valores en altura (37,2 cm), empero su tasa de crecimiento sólo difirió significativamente de la procedencia de Cofre de Perote. En cuanto a la tasa de crecimiento en diámetro, Coatepec (DISEFO) fue significativamente mayor al resto de las otras procedencias; sin embargo, en general no se observó ningún patrón de crecimiento relacionado con la distribución geográfica de las procedencias.

PALABRAS CLAVE:
Abies religiosa, crecimiento en vivero, Desierto de los Leones, procedencias, Valle de México, variabilidad.

ABSTRACT

Abies religiosa shows a wide distribution in Mexico and extends from the States of Sinaloa and San Luis Potosí in the north part of Mexico up to Puebla and Tlaxcala in the south, but there are also populations of this species in Guatemala. The forests in the Valle de México region are located in the mountainous areas around Mexico City and socially and ecologically are very important because they

1 Investigador Titular CENID-COMEF / INIFAP. Av. Progreso núm.. 5, Viveros de Coyoacán, C.P. 04010, Coyoacán, México, D.F. correo-e: benavides.hector@inifap.gob.mx
2 Prestador de Servicios CENID-COMEF / INIFAP
3 Exinvestigador del CENID-COMEF / INIFAP.

are a significant component of the peri-urban forest of this Metropolitan Area. Unfortunately these stands have been declining for the last 30 or more years and it is imperative to look for solutions to restore these areas. The objective for this project was to determine the variation in growth (height and basal diameter) among eight provenances of this species and was used a random block design with 64 replicates. Measurements were done every three months through a period of a year. Seedlings from San Nicolás Coatepec provenance showed the top values in height (37,2 cm), however the growth rate was only significantly different with Cofre de Perote. The biggest basal diameter growth was recorded in seedlings from Coatepec (DISEFO) provenance, and it was significantly different from the rest of provenances, but no pattern of geographically-determined variation was observed among the growth response from the different provenances.

KEY WORDS:
Abies religiosa, nursery growth, Desierto de los Leones, provenances, Valle de Mexico, variability

INTRODUCCIÓN

A la especie *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht *et* Cham. se le conoce como pinabete, abeto, jalocote, jalocotl, bansu (otomí), acxoyatl (nahuatl) y oyamel, el cual es el más usado (Manzanilla-Bolio, 1974; Gómez-González, 2003). Es un árbol perennifolio que alcanza 40 m y en ocasiones 60 m de altura y presenta ramas extendidas o ligeramente ascendentes y verticiladas que forman una copa cónica. Presenta hojas alternas, dispuestas en espirales, lineares, torcidas en la base, con el ápice agudo y córneo, de color verde oscuro brillante en el haz y muy glaucas en el envés, de (20-30) mm, rara vez hasta 35 mm de largo y de 1,5 mm de ancho. Conos solitarios, erguidos, cilíndricos y oblongos, romos, resinosos, casi sésiles; de color violáceo a moreno violáceo y miden de (10-16) cm de largo por (4-6) cm de ancho (Martínez, 1948; Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001) (Fig. 1). Las semillas son





Figura 1. Árbol y conos de *Abies religiosa.*

FUENTES: (a) Héctor M. Benavides Meza, (b):http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/reforestacion/Fichas%20Tecnicas/ Abies%20religiosa.pdf

cuneado-oblongas, de unos 9 mm a 10 mm de largo, aladas, lisas y de color castaño brillante (Martínez, 1953).

Distribución y características de la especie

El oyamel se distribuye en las partes altas montañosas desde Sinaloa y San Luis Potosí hasta Guatemala, entre los 2500 y 3660 msnm (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001). En México se encuentra principalmente a lo largo del Eje Neovolcánico entre los 17° 30' y 21° 00' latitud N y los 97° a 104° 00' longitud O, desde Veracruz hasta Michoacán y Jalisco (Martínez, 1953; Manzanilla-Bolio, 1974). Los bosques de *A. religiosa* se desarrollan en climas templados con precipitaciones de 1000 mm anuales; en suelos profundos, bien drenados; húmedos, ricos en materia orgánica y de neutros a ligeramente ácidos (Madrigal-Sánchez, 1967; Manzanilla-Bolio, 1974).

Los rodales de oyamel se encuentran puros en pequeños manchones o mezclados principalmente con *Pinus montezumae* Lamb., *P. hartwegii* Lindl., *P. ayacahuite* Ehren. *ex* Schlecht., *P. douglasiana* Mart., *Pseudotsuga* sp., *Cupressus lindleyi* Klotzsch *ex* Endl., *Quercus* sp., *Alnus* sp., *Salix* sp., *Arctostahyllos* sp. y *Arbutus* sp. (Gómez-González, 2003).

Abies religiosa en la Cuenca del Valle de México

En la cuenca se encuentra desde El Chico hasta Epazoyucan y de Villa Nicolás Romero hasta Tlalpan y Milpa Alta; asimismo se distribuye de Texcoco a Amecameca, Juchitepec y Tepeapulco, desde los 2600 m en donde se encuentran escasos individuos en las barrancas y cañadas protegidas, hasta una altitud máxima de 3500 msnm. Las masas más densas se encuentran entre 2900 m y 3200 m, en asociación frecuentemente con *P. montezumae* en el límite altitudinal inferior, *P. psedostrobus* Lindl., *P. rudis* Endl. y *C. lindleyi* en la parte media y *P. hartwegii* Lindl. en la parte superior (Madrigal-Sánchez, 1967; Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Importancia ecológica y económica

Los bosques de *A. religiosa* constituyen comunidades clímax que dominan las partes altas del Valle de México, cuyas características de cobertura vegetal y propiedades físicas del suelo permiten una eficiente absorción y retención del agua de lluvia; además de tener interés estético-recreativo y ser de especial importancia para la protección de fauna silvestre en los parques nacionales, cuatro de los cuales se encuentran en la Cuenca de México (Cumbres del Ajusco, Desierto de los Leones, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla y El Chico) y que suman 6556 ha (Madrigal-Sánchez, 1967; Nieto de Pascual-Pola, 1995). En función de lo anterior, estas masas arboladas son un importante componente de lo que se refiere a bosque periurbano (Benavides-Meza et *al*., 1994), que en este caso, al encontrarse en la periferia del Área Metropolitana de la Ciudad de México, adquiere especial relevancia por los servicios ambientales que genera para sus habitantes y el mejoramiento ecológico de la misma.

Aunado a lo anterior, la madera de esta especie es muy útil para la obtención de pulpa para papel debido al tamaño de su fibra y carencia de resina. De igual forma se emplea en la fabricación de cajas, canastas, empaques para alimentos, postes, vigas, morillos, pilotes, fajillas, así como leña y carbón. También es utilizado como árbol de navidad y se

elaboran adornos con sus ramas (Madrigal-Sánchez, 1967; Manzanilla-Bolio, 1974).

Declinación de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones

A finales de la década de los setenta y principios de los ochenta se presentó en los bosques de *A. religiosa* y *P. hartwegii* del Desierto de los Leones, un proceso de declinación similar al reportado por botánicos europeos, el cual se manifestaba como una decoloración del follaje, disminución de la biomasa radical y aérea, caída prematura de acículas adultas en las coníferas, disminución tanto del crecimiento anual como de brotes y renuevos, así como un aumento en la susceptibilidad de los individuos arbóreos al ataque de insectos y enfermedades, que culminaba generalmente en una “muerte descendente” de los árboles, ya fueran dominantes o dominados en la masa (Alvarado *et al.*, 1992; Alvarado-Rosales y Hernández-Tejeda, 2002; Cibrián, 1989; Cielsa y Macías, 1987). Se consideró desde entonces que la declinación comenzaba cuando los árboles eran alterados inicialmente por uno o más factores estresantes, los cuales deterioraban la salud y vigor del arbolado hasta el punto en que varios patógenos secundarios podían matar al huésped (Vázquez, 1987; Weaver y Stipes, 1988; Granados-Sánchez y López-Ríos, 2001). Los datos disponibles hasta la fecha, señalan a la contaminación atmosférica (principalmente ozono) como el principal agente causal de la declinación forestal en dichos bosques (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2001; González-Medina, *et al.*, 2010). La situación de ésta área natural es preocupante ya que constituye una zona de depósito atmosférico elevado por estar ubicado en el sotavento de la cuenca y es el paso obligado del aire contaminado de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. De igual manera, la lluvia ácida es evidencia adicional de que la contaminación atmosférica afecta los ecosistemas forestales del Desierto de los Leones y la calidad del agua de lluvia que captan (Pérez-Suárez *et al.*, 2006); pues los resultados de Saavedra-Romero *et al.* (2003), los cuales fueron obtenidos durante 1998, mostraban que en el desierto se presentaban lluvias ácidas (pH<5,65), especialmente en los meses con mayor precipitación promedio (agosto y octubre).

Derivado de esta situación, las dependencias operativas tienen la necesidad de realizar reforestaciones con especies nativas para acelerar procesos de sucesión vegetal que permitan repoblar en menor tiempo las áreas descubiertas y apoyar estas acciones con actividades de conservación de suelos (CONANP, 2006).

Restauración de la cubierta arbórea en el área

La restauración se define como el acto de regresar al estado original una comunidad, pero de acuerdo con Ashby (1987), la originalidad de un ecosistema es cuestionable si partimos de lo que se entienda por ecosistema original; así como el hecho de si el proceso de restauración pretende llevar la comunidad al estado antes de la degradación o a una etapa de sucesión más avanzada y el último de estos argumentos versa sobre la casi imposibilidad de alcanzar un estado único, lo cual llevaría a una condición estática que no es natural en un ecosistema. Debido a lo anterior, la meta de la restauración no es obtener una condición idéntica a la del ecosistema forestal considerado como original, sino a una cercana o parecida a la misma en la que se pretende regresar a un estado más saludable o vigoroso (Ashby, 1987; Rodríguez-Trejo, 2006).

En relación con lo anterior, la utilización de procedencias de la especie que resultó afectada en el sitio puede ser una alternativa adecuada de restauración, con base en la variación genética de las especies forestales de amplia distribución, ligada a diferencias ambientales dentro de la misma (García-Quintana *et al*., 2007). La variación entre procedencias puede permitir el desarrollo de la especie en el sitio donde se encontraba la población original que fue afectada, como en el caso del Desierto de los Leones y con tal fin, los ensayos de procedencias son una herramienta útil para evaluar y valorar la respuesta de las mismas.

El presente trabajo forma parte de un gran proyecto que tuvo como objetivo central el proponer una alternativa sustentada en el uso de procedencias de *Abies religiosa* para la restauración de la cubierta arbórea en las áreas cementerio que presentan un severo deterioro en el Desierto de los Leones (Fig. 2). Por esta razón, la evaluación de las procedencias se inició desde su respuesta inicial a partir de su desarrollo en vivero y en la búsqueda, como lo plantean Climent *et al.* (2008), de plantas forestales de calidad genética adecuada para desarrollarse en las condiciones prevalecientes del Desierto de los Leones.

Variación de *Abies religiosa*

Las especies forestales con grandes áreas de distribución muestran, en general, una gran variación clinal controlada genéticamente. Ésta se ve reflejada en la plasticidad fenotípica de las características fisiológicas y morfológicas, como aquellas que están relacionadas con la



Figura 2. Área con arbolado muerto en pie de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, D.F.

resistencia por la adaptación a factores limitantes. La variación intraespecífica, es decir, la variación entre ecotipos de la misma especie se debe a la selección natural influida por los gradientes geográficos y ambientales que se presentan a lo largo del área de distribución y al aislamiento por discontinuidades que presentan las poblaciones (Zobel y Talbert, 1984). En la medida que una especie tiene un amplio rango de distribución, es posible encontrarla en diferentes altitudes, exposiciones, tipos de suelo u otros factores ambientales y por ende sus poblaciones (procedencias) tenderán a contar con una variación genética y estar más diferenciadas. Ejemplo de lo anterior es frecuente encontrarlo en especies forestales de distribución geográfica amplia, las cuales pueden presentar una considerable variación en caracteres anatómicos, morfológicos y fisiológicos (Burley, 1969; Rodríguez-Trejo, 2006).

En el caso del oyamel se han realizado estudios sobre la variación morfológica y fisiológica en las semillas provenientes de diferentes localidades del Valle de México y Michoacán, entre los que destacan el realizado por la FAO (1971), donde se midió el porcentaje de germinación y numero de semillas por kilogramo. Nieto de Pascual-Pola *et al.* (2003) evaluaron la relación entre el tamaño y peso de los conos con la calidad de la semilla y reportan que su viabilidad es independiente del tamaño del cono. En forma similar, Cortés-Barrera *et al.* (2005) cuantificaron la viabilidad de las semillas y el potencial de regeneración de esta especie en dos localidades del Distrito Federal, de las cuales la proveniente de la Sierra del Ajusco presentó una mayor producción de semillas y una mayor capacidad germinativa a diferencia de la colectada en la Cañada de Contreras. Cabe destacar que dichos estudios se llevaron a cabo con el fin de tener un mayor conocimiento de la propagación de la especie como alternativa para su conservación.

Existen algunos estudios sobre aspectos dasométricos y de regeneración de los bosques de *A. religiosa*, incluso una evaluación en vivero con diferentes sustratos y tamaño de contenedor realizado por Santiago-Trinidad (2002), así como un diagnóstico de necesidades de fertilización por Moreno *et al.* (2002). No obstante lo anterior, hasta la fecha no se ha publicado ningún estudio relacionado con la variación en el crecimiento de plántulas de diferentes procedencias de oyamel, por lo que con base en la idea central del proyecto, se planteó el objetivo para el presente trabajo.

OBJETIVO

Determinar la variación en el crecimiento en diámetro y altura en plántulas provenientes de ocho procedencias de *A. religiosa* bajo condiciones de vivero.

METODOLOGÍA

Recolección de semillas

Se obtuvieron semillas de ocho localidades de *A. religiosa* procedentes tanto de los extremos de su distribución transversal en el Eje Neovolcánico, como de diferentes sitios ubicados en la zona central de la misma (Tabla 1). Los lotes 1 al 3 fueron colectados en los meses de noviembre y diciembre del 2003 por el grupo de investigadores y colaboradores del INIFAP/CENID-COMEF. En cada sitio se cosecharon conos de 10 árboles maduros y sanos, ubicados a una distancia de 50 m o más uno del otro.; sin embargo, la semilla de estas procedencias no se mantuvo separada por árbol y se conformó un gran lote, al igual que el resto de las procedencias. El lote 4 fue donado por un distribuidor comercial

Tabla 1. Sitios de colecta de las semillas de *Abies religiosa*.

Núm..	*Procedencias*	*Clave*	*Coordenadas*	*Altitud (msnm)*
1	Nevado de Colima, Jal.	NEC	19° 35' 54"N 103° 35' 05"O	3197
2	Cofre de Perote, Ver.	COP	19° 31' 12"N 97° 09' 30"O	3486
3	Nevado de Toluca, Méx.	TOL	19° 11´ 03´´N 99° 45´ 33´´O	3229
4	Coatepec, Méx.	(DISEFO) COH	19°00´00´´N 99°48´00´´O	2260
5	San Nicolás Coatepec, Méx.	SNC	19° 06' 58"N 99° 23' 90"O	2850
6	Santa Ana Tlacotenco, Milpa Alta, D.F.	SAT	19° 06' 26"N 99° 00' 11"O	3750
7	La Soledad, San Antonio Calpulalpan, Tlaxcala	LAS	19° 32´ 14´´N 98° 35´ 50´´O	2440
8	Milpa Alta, D. F.	MIA	19°29´00´´N 99°16´00´´O	2500

de semilla y los lotes 5 al 8 fueron facilitados por la Comisión de Recursos Naturales (CORENA), de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Siembra

Para la producción de la planta se utilizó el procedimiento tradicional que se utiliza en el Vivero San Luis Tlaxiatemalco de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (CORENA), con el fin de no alterar la posible aplicación de los resultados de este proyecto por parte de esta dependencia operativa, la cual es la encargada de la producción y abastecimiento de plantas para los programas de reforestación que se llevan a cabo en el Distrito Federal y áreas forestales aledañas.

Antes de la siembra se benefició la semilla mediante su desalado, separación por tamaños con ayuda de cribas y limpieza en una sopladora que separó las semillas viables de la basura y semillas vanas. Asimismo las semillas pasaron por un proceso de desinfección con cloro al 0,6%, seguido de una imbibición por un periodo de 24 hrs y se eliminó el exceso de agua para posteriormente colocarlas en bolsas de plástico con fungicida Thiram horas antes de sembrarlas.

La siembra de las ocho procedencias de *A. religiosa* se realizó en almácigo, el 28 y 29 de junio del 2004 y la germinación se presentó dentro de las 3 a 4 semanas posteriores a la misma (30 de julio al 3 de agosto del 2004). Las plántulas se trasplantaron a charolas de plástico rígido con 40 cavidades de 93 cm^3 cada una, que contenían un sustrato de *peat moss*, agrolita y vermiculita en una proporción de 50:20:30 respectivamente y fertilizante *Multicote* (3,5 kg/m^3 de sustrato), el cual se aplicó posteriormente diluido en agua de riego cada ocho meses en promedio. De igual manera se les aplicó *Micromax*, con el fin de proporcionar a las plántulas los micronutrientes básicos. Finalmente, las charolas se llevaron al invernadero del vivero, donde se regaron por aspersión periódica (Fig. 3).

Diseño experimental

Las plántulas se mantuvieron en el invernadero, tiempo en el cual se llevó a cabo la evaluación de su crecimiento con base en la medición del diámetro en la base del tallo y la altura. La primera de estas variables se midió con un vernier digital (Mitutoyo, modelo No. CD-6"CS) y la altura con una regla métrica hasta la yema apical. Las mediciones se realizaron cada tres meses (29/09/2004, 10/01/2005, 6/04/2005 y 28/07/2005).

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con 8 bloques y 64 repeticiones por procedencia; en el cual cada charola fue considerada como un bloque y en cada una se muestrearon las ocho plántulas centrales a lo largo de la charola.



Figura 3. Plántulas de *Abies religiosa* en el vivero de San Luis Tlaxiatemalco de la CORENA.

Análisis estadístico

Se obtuvo el promedio de la altura y diámetro basal para cada procedencia en cada uno de los bloques por cada fecha de medición y, con el fin de obtener la tasa de crecimiento, se obtuvo el logaritmo de dichos promedios para realizar un ajuste de mínimos cuadrados entre las cuatro fechas de evaluación. Una vez determinada la tasa de crecimiento del diámetro basal y la altura de cada procedencia, se realizó un análisis de varianza (α= 0,05) y por último se llevó a cabo una comparación *post- hoc* o *a posteriori*, para saber en concreto cual o cuales eran las procedencias que presentaban diferencias en su respuesta entre sí mediante una prueba de Tukey.

RESULTADOS

Altura

Los valores promedio de altura por cada fecha de medición y para cada procedencia se muestran en la tabla 2. En la primera medición los valores fueron muy similares entre las procedencias; sin embargo hacia la segunda y tercera medición era ya posible observar ciertas diferencias entre ellas, lo cual resultó claramente notorio en los valores medios obtenidos en la última medición, en la cual el mayor valor se presentó en la procedencia de San Nicolás Coatepec y el menor desarrollo en Cofre de Perote (Tabla 2).

En la figura 4 se observa el desarrollo en altura y su ajuste de acuerdo con el procedimiento referido por cada fecha de medición. En el periodo comprendido de enero a abril del 2005 las procedencias mostraron una velocidad de crecimiento menor en comparación con los periodos de septiembre a enero y de abril a julio, en el cual se presentaron las mayores tasas de crecimiento. Este comportamiento es muy similar al que se esperaría encontrar en plántulas que se desarrollan bajo condiciones de campo,

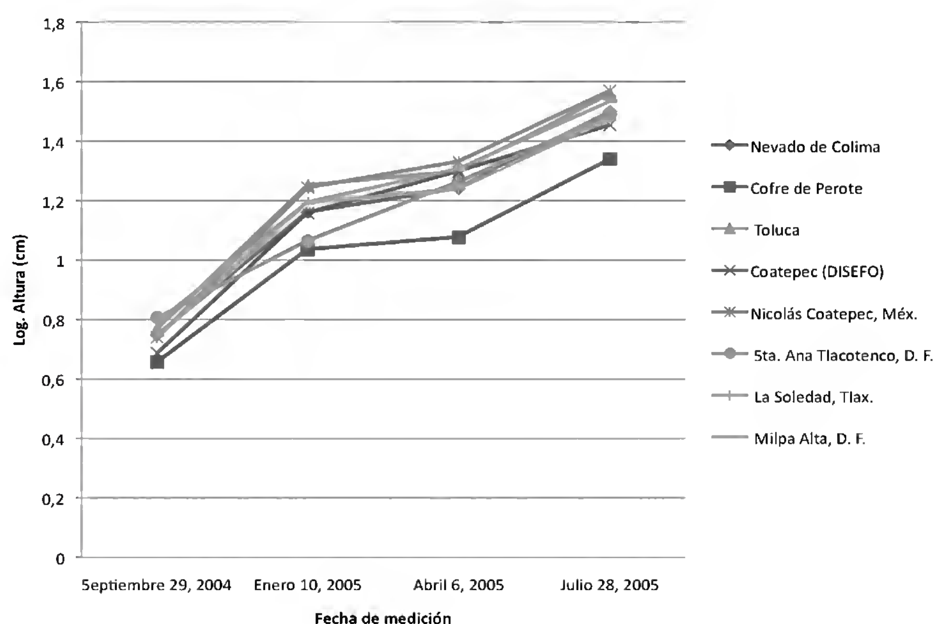


Figura 4. Tasas de crecimiento en altura de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

Tabla 2. Altura promedio (cm) por fechas de medición en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

		Fecha de medición			
Procedencia	*N*	*29/09/2004*	*10/01/2005*	*06/04/2005*	*28/07/2005*
Nevado de Colima, Jal.	64	5,6 ±0,14	14,6 ±0,44	17,5 ±0,51	31,9 ±1,2
Cofre de Perote, Ver.	64	4,6 ±0,19	10,9 ±0,52	12,0 ±0,52	22,0 ±0,94
Nevado deToluca, Méx.	64	5,9 ±0,17	18,0 ±0,62	20,1 ±0,68	36,3 ±1,07
Coatepec de las Harinas, Méx. (DISEFO)	64	4,9 ±0,16	14,6 ±0,58	20,1 ±0,93	28,8 ±1,13
San Nicolás Coatepec, Mex.	64	5,5 ±0,18	17,6 ±0,51	21,5 ±0,72	37,2 ±1,31
Sta. Ana Tlacotenco, D.F.	64	6,4 ±0,16	11,6 ±0,38	18,3 ±0,58	31,1 ±1,07
La Soledad, Tlax.	64	5,5 ±0,15	15,7 ±0,42	17,4 ±0,44	30,1 ±1,06
Milpa Alta, D.F.	64	6,2 ±0,15	15,8 ±0,46	20,4 ±0,67	34,4 ±1,06

es decir, que crezcan más durante la temporada de mayor temperatura y lluvias y menos durante la temporada fría y de estiaje, lo que indica una respuesta fenológica muy asociada a las condiciones ambientales en esta especie, independiente de la cantidad de riego y que obedece más a cambios de temperatura y luz (fotoperiodo), relacionados con factores genéticos de control.

Los resultados del análisis de varianza practicado a los datos de altura indican que se registraron diferencias significativas (α=0,05) entre las ocho procedencias (Tabla 3).

Con base en lo anterior, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias cuyos resultados se presentan en la tabla 4, en la cual se aprecia que la procedencia Cofre de Perote presentó una altura significativamente menor a la de las otras procedencias mientras que la de San Nicolás Coatepec resulto ser significativamente mayor a las de Santa Ana Tlacotenco, La Soledad, Coatepec (DISEFO) y Cofre de Perote (Tabla 4).

Tasas de crecimiento

Aunado al parámetro de altura, se realizó una prueba de análisis de varianza para comparar las tasas de crecimiento en altura entre las 8 procedencias de *A. religiosa*. Los resultados permitieron determinar que existían diferencias significa-

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza a los valores de la altura en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

FV	*Gl*	*SC*	*CM*	*F*	*Sig Obs*
Total	63	2002,515			
Tratamientos	7	1315,07988	187,868555	15,3041921	0,0000
Error	56	687,435117	12,2756271		

FC= 63441,0156

Tabla 4. Resultados de la prueba de Tukey en los valores medios de altura en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

Procedencia	*Medias*	*
San Nicolás Coatepec, Méx.	37,2	A
Nevado de Toluca, Méx.	36,3	AB
Milpa Alta, D.F.	34,4	ABC
Nevado de Colima, Jal.	31,9	ABCD
Sta. Ana Tlacotenco, D.F.	31,1	BCD
La Soledad, Tlax.	30,1	CD
Coatepec, Méx. (DISEFO)	28,8	D
Cofre de Perote, Ver.	22,0	E

* Los valores de media con diferente letra difieren significativamente entre sí.

tivas (α=0,05) entre estas (Tabla 5), por lo que se procedió a realizar una prueba de comparación de medias para dichos datos (Tabla 6).

Se registraron diferencias significativas entre las procedencias de San Nicolás Coatepec y Cofre de Perote, las cuales registraron el mayor y menor valor respectivamente. Tales resultados coinciden con los obtenidos en el análisis del promedio de la altura para estas dos procedencias. Asimismo, las procedencias de San Nicolás Coatepec, Coatepec (DISEFO) y Toluca, todas pertenecientes al Estado de México, se agrupan entre las tasas de crecimiento mayores.

Diámetro

En la tabla 7 se presentan los valores de diámetro promedio en cada fecha de medición, para cada procedencia bajo condiciones de vivero y, al igual que en la altura, se presentaron valores muy similares en la medición inicial, pero hacia el final del periodo de muestreo fue evidente la variación entre procedencias, pues en las plántulas provenientes de Coatepec (DISEFO) se registró el mayor crecimiento en diámetro, con un promedio de 4,29 mm y en la de Cofre de Perote se presentó la menor (3,44 mm).

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza a los valores de la tasa de crecimiento en altura en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

FV	*Gl*	*SC*	*CM*	*F*	*Sig Obs*
Total	63	0,0000039			
Tratamientos	7	0,0000011	0,00000017	3,44370341	0,0042
Error	56	0,0000027	0,000000049		

FC= 0,000357666

Tabla 6. Resultados de la prueba de Tukey en los valores medios de tasa de crecimiento en altura en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

Tratamiento	*Media*	*
San Nicolás Coatepec	0,0026	A
Coatepec, Méx. (DISEFO)	0,0025	AB
Nevado de Toluca, Mex.	0,0024	AB
Milpa Alta, D.F.	0,0024	AB
Nevado de Colima, Jal.	0,0024	AB
La Soledad, Tlax.	0,0023	AB
Sta. Ana Tlacotenco	0,0023	AB
Cofre de Perote, Ver.	0,0021	B

*Las medias con diferente letra difieren significativamente entre sí.

Tabla 7. Diámetro promedio (mm) en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero en las diferenres fechas de medición.

		Fecha de medición			
Procedencia	*N*	*29/09/2004*	*10/01/2005*	*06/04/2005*	*28/07/2005*
Nevado de Colima, Jal.	64	1,3 ±0,02	2,1 ±0,05	2,9 ±0,06	3,8 ±0,09
Cofre de Perote, Ver.	64	1,3 ±0,02	2,1 ±0,06	2,5 ±0,06	3,4 ±0,09
Nevado de Toluca, Mex.	64	1,3 ±0,02	2,1 ±0,04	3,0 ±0,05	3,9 ±0,10
Coatepec de las Harinas, Méx. (DISEFO)	64	1,2 ±0,02	1,9 ±0,05	3,2 ±0,07	4,3 ±0,10
San Nicolás Coatepec, Méx.	64	1,3 ±0,02	1,9 ±0,05	2,7 ±0,08	3,7 ±0,11
Sta. Ana Tlacotenco, D.F.	64	1,2 ±0,02	2,1 ±0,04	2,5 ±0,07	3,6 ±0,10
La Soledad, Tlax.	64	1,2 ±0,02	1,9 ±0,03	3,1 ±0,05	3,7 ±0,09
Milpa Alta, D.F.	64	1,2 ±0,02	1,9 ±0,04	3,0 ±0,06	3,8 ±0,09

La figura 5 muestra que Las tasas de crecimiento registradas en esta variable fueron muy similares entre procedencias al principio del experimento, sin embargo se fueron diferenciando a partir de enero y las plántulas de Santa Ana Tlacotenco y Cofre de Perote presentaron una menor velocidad de crecimiento. A diferencia de la tasa de crecimiento en altura, la de diámetro presentó un patrón más constante a lo largo del tiempo.

Los resultados del análisis de varianza practicados a los datos de diámetro se presentan en la tabla 8, los cuales indican que se registraron diferencias significativas (α=0,05) entre las ocho procedencias. Con base en lo anterior, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias cuyos resultados se presentan en la tabla 9, en la cual se observa que las plántulas de la procedencia Cofre de Perote presentaron un diámetro significativamente menor a las de Nevado de Toluca y Coatepec (DISEFO). Cabe destacar que el diámetro de las plántulas de ésta última procedencia fue significativamente mayor al de todas las procedencias, excepto las de Nevado de Toluca.

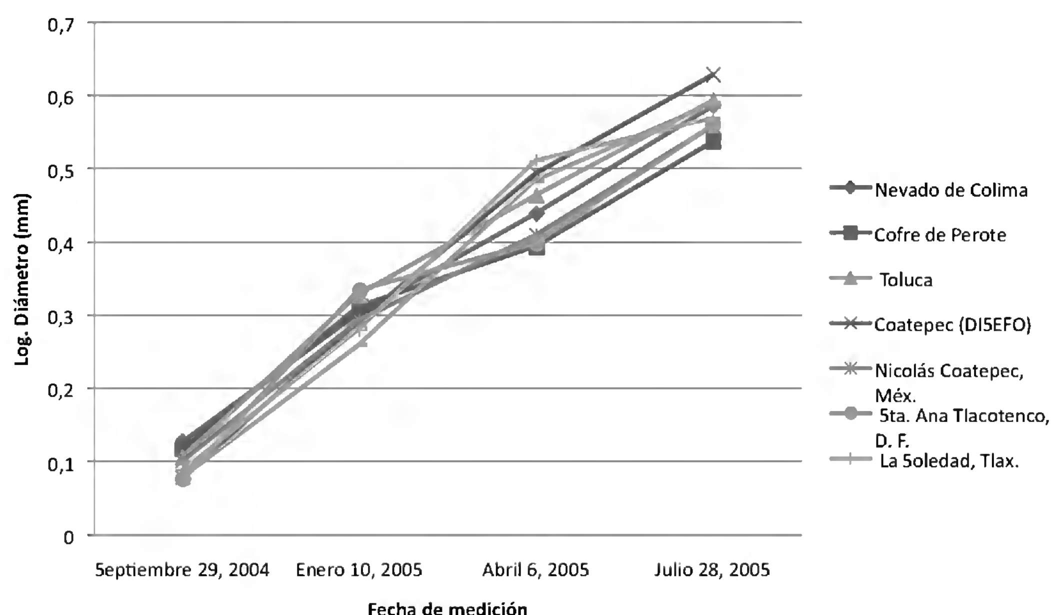


Figura 5. Tasa de crecimiento en diámetro de ocho procedencias de *Abies religiosa* de septiembre del 2004 a julio del 2005.

Tabla 8. Resultados del análisis de varianza a los valores de diámetro en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

FV	*Gl*	*SC*	*CM*	*F*	*Sig Obs*
Total	63	8,59270134			
Tratamientos	7	3,50699646	0,50099949	5,51663384	0,0000734192
Error	56	5,08570488	0,09081616		

FC =916,30127

Tabla 9. Resultados de la prueba de Tukey en los valores medios de diámetro en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

Procedencia	*Medias*	*
Coatepec, Méx. (DISEFO)	4,3	A
Nevado de Toluca, Méx.	3,9	AB
Nevado de Colima, Jal.	3,8	BC
Milpa Alta, D. F.	3,8	BC
Nicolás Coatepec, Méx.	3,7	BC
La Soledad, Tlax.	3,7	BC
Sta. Ana Tlacotenco	3,6	BC
Cofre de Perote, Ver.	3,4	C

*Las medias con diferente letra difieren significativamente entre si.

Los resultados del análisis de varianza efectuado a los valores de tasas de crecimiento en diámetro en las 8 procedencias, indican que se presentaron diferencias significativas (α=0,05) entre éstas (Tabla 10) y, con base en este resultado, al realizar la prueba de comparación de medias entre procedencias se registró que al igual que el valor promedio de diámetro final, la tasa de crecimiento de la procedencia Coatepec (DISEFO) fue significativamente mayor al de las otras procedencias y la de Cofre de Perote fue la menor, difiriendo con Coatepec (DISEFO), Milpa Alta, D.F., La Soledad, Tlax. y Nevado de Toluca (Tabla 11).

Finalmente, en la tabla 12 se muestran los valores promedio finales de altura y diámetro que fueron alcanzados por las plántulas por procedencia, así como los de sus tasas de crecimiento en dichas variables. Se observa que en el caso de aquellas procedencias con un mayor tamaño final se registraron, como sería de esperar, los más altos valores de tasas de crecimiento. No obstante lo anterior, la tasa de crecimiento es una medida más certera para determinar qué procedencia creció más en grosor, particularmente cuando la medida inicial de la evaluación no es similar por tener dimensiones diferentes.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza a los valores de la tasa de crecimiento en diámetro en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

FV	*Gl*	*SC*	*CM*	*F*	*Sig Obs*
Total	63	0,000002			
Tratamientos	7	0,0000012	0,00000017	12,5872159	0,0000
Error	56	0,0000008	0,000000014		

FC= 0,0001629

Tabla 11. Resultados de la prueba de Tukey en los valores medios de tasa de crecimiento en diámetro en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

Procedencia	*Media*	*
Coatepec, Méx. (DISEFO)	0,0019	A
Milpa Alta, D.F.	0,0017	B
La Soledad, Tlax.	0,0017	B
Nevado de Toluca, Méx.	0,0016	B
Nevado de Colima, Jal.	0,0015	BC
Sta. Ana Tlacotenco	0,0015	BC
Nicolás Coatepec, Méx.	0,0015	BC
Cofre de Perote, Ver.	0,0014	C

*Las medias con diferente letra difieren significativamente entre sí.

Tabla 12. Valores promedio en altura, diámetro y sus respectivas tasas de crecimiento en plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* cultivadas en vivero.

Procedencia	*Altura*	*Nivel de signif.*	*Tasa de crec.*	*Nivel de signif.*	*Diámetro*	*Nivel de signif.*	*Tasa de crec. diámetro*	*Nivel de signif.*
San Nicolás Coatepec, Méx.	37,23	A	0,003	A	3,72	BC	0,0015	BC
Nevado de Toluca, Méx.	36,28	AB	0,002	AB	3,94	AB	0,0016	B
Milpa Alta, D. F.	34,43	ABC	0,002	AB	3,77	BC	0,0017	B
Nevado de Colima, Jal.	31,94	ABCD	0,002	AB	3,78	BC	0,0015	BC
Sta. Ana Tlacotenco, D. F.	31,12	BCD	0,002	AB	3,64	BC	0,0015	BC
La Soledad, Tlax.	30,08	CD	0,002	AB	3,69	BC	0,0017	B
Coatepec, Méx. (DISEFO)	28,75	D	0,003	AB	4,29	A	0,0019	A
Cofre de Perote, Ver.	22,01	E	0,002	B	3,44	C	0,0014	C

*Los valores promedio con diferente letra difieren significativamente entre sí.

DISCUSIÓN

En relación con el crecimiento en altura total, se encontraron diferencias significativas entre procedencias, en las cuales el menor valor se registró en Cofre de Perote y el inmediato, pero significativamente diferente, fue en las plántulas provenientes de Coatepec, Edo. de México. Asimismo, en la tasa de crecimiento sólo se distinguen dos grupos significativamente diferentes, de los cuales Cofre de Perote mostró el menor valor de ellos. Un patrón similar se registró en el tamaño final del diámetro y de su tasa de crecimiento, aunque en este caso la distinción de los grupos que se conforman a raíz de las diferencias registradas es menos uniforme.

Si bien el tiempo de evaluación en vivero fue relativamente pequeño, los datos derivados de este trabajo permitieron distinguir una respuesta claramente diferente en la altura de las plántulas de la procedencia Cofre de Perote, que se manifestó asimismo en los valores de diámetro basal en el cual fue diferente por lo menos con dos procedencias. Con base en lo anterior, los resultados no permiten determinar una posible variación que esté relacionada con un factor altitudinal o latitudinal de las procedencias.

Una reducida variación entre poblaciones de *A. religiosa* fue reportada por Aguirre-Planter *et al.* (2000), quienes refieren que en las coníferas es común encontrar una gran diversidad interna en las poblaciones, pero baja entre éstas, debido en parte a un extensivo flujo génico y la longevidad de los individuos. Una respuesta similar es la que reportan Juárez-Agis *et al.* (2006) para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, quienes no encontraron diferencias en el tamaño de plántulas de 9 meses de edad de diferentes poblaciones.

Con base en lo anterior, es posible considerar que la variación registrada en las plántulas de Cofre de Perote se relacione más con factores climáticos que influyen en esas poblaciones y que determinan un inicio y un detenimiento del crecimiento anticipado y diferente de la población con respecto a las demás procedencias. Lamentablemente en este trabajo no se registró la fenología de las poblaciones bajo estudio, lo que habría ayudado a dilucidar este supuesto. No obstante lo anterior, la respuesta fenológica entre procedencias está bien documentada, especialmente en aquellas especies con amplios rangos latitudinales de distribución, como sería el caso de *Liquidambar stiracyflua* L.

CONCLUSIONES

No obstante las diferencias significativas registradas en el crecimiento en altura y diámetro en plántulas de diferentes procedencias de *Abies religiosa*, no se encontró un patrón de variación latitudinal, longitudinal o altitudinal entre las mismas.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto intitulado “Introducción de procedencias para la restauración de los bosques en declinación del Distrito Federal. Etapa 1: *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa,* el cual fue posible realizarlo en forma parcial gracias al apoyo económico del Fondo Sectorial Conafor-Conacyt. Asimismo, el apoyo del Vivero San Luis Tlaxiatemalco fue fundamental para la producción y mantenimiento de la planta y merece nuestro reconocimiento la desinteresada colaboración del Ing. Salvador Castro Zavala. De igual manera, la realización de este trabajo hubiera sido difícil si no se hubiera contado con la ayuda de los

alumnos de la Carrera de Biología de la Facultad de Ciencias, que colaboraron en el taller relacionado con este trabajo.

REFERENCIAS

Aguirre-Planter, E., G.R. Furnier y L.E. Eguiarte. 2000. Low levels of genetic variation within and high levels of genetic differentiation among populations of species of *Abies* from southern Mexico and Guatemala. American Journal of Botany 87(3):362-371.

Alvarado, R.D., L.I. de Bauer y A.J. Galindo. 1992. Decline of sacred fir (Abies religiosa) in a forest Park south of Mexico City. Environmental Pollution 80: 115-121.

Alvarado-Rosales, D, y T. Hernández-Tejeda. 2002. Decline of sacred fir in the Desierto de los Leones National Park. *In*: Urban air pollution and forests: resources at risk in the Mexico City air basin. Fenn M., L.I. Bauer y T. Hernández, eds. Springer-Verlag, Nueva York.

Ashby, W.C. 1987. Forests. *In:* W.R. Jordan, M.E. Gilpin y J.D. Aber, eds. Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra. p:89-108.

Benavides-Meza, H.M., B. Ortega R., M. de la P. Medina B. y P. de la Garza L. 1994. Notas del Curso de Dasonomía Urbana. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. sp.

Burley, J. 1969. Metodología de los ensayos de procedencia de especies forestales. Unasylva 23(3):24-28.

Calderón de Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª Edición. Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 p.

Cibrián, T.D. 1989. Air pollution and forest decline near Mexico City. Environmental Monitoring and Assessment 12:49-58.

Cielsa, W.M. y S.J. Macías. 1987. Desierto de los Leones. A forest in crisis. American Forest. November/December.

Climent, J., R. Chambel, D. Barba, J. Voltas y R. Alía. 2008. Evaluación genética de la planta forestal: conceptos y resultados disponibles para rodales de pinos españoles. Boletín del CIDEU 6-7:69-82.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional "Desierto de los Leones". México. 172 p. Disponible en: http://www.conanp.gob.mx/pdf_programa_manejo/Desierto_ok.pdf. (21 de abril de 2009).

Cortés-Barrera, E.N., C. Nieto de Pascual-Pola, y M.A. Pérez-Hernández. 2005. Regeneración natural de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham. en dos localidades del Distrito Federal. *In:* Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 26-28 de octubre de 2007. Universidad Autónoma de Chihuahua. p:202-203.

García-Quintana Y., A. Álvarez-Brito y E. Guizar-Nolazco. 2007. Ensayo de procedencias de *Pinus caribea* var. *caribea* en alturas de pizarras, Viñales, Pinar del Río, Cuba. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13(2):125-129.

Gómez-González, R. 2003. Estado del conocimiento de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo. 450 p.

González-Medina, R.E., M. Mendoza B. y D. Alvarado-Rosales. 2010. Exposición a ozono en relación a vitalidad en un bosque de oyamel (Abies religiosa (Kunth) Schltdl. & Cham). Madera y Bosques 16(4):7-19

Granados-Sánchez, D. y G.F. López-Ríos. 2001. Declinación Forestal. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 7(1):5-13.

Juárez-Agis, A., J. López-Upton, J.J. Vargas-Hernández y C. Sáenz Romero. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga mensiezii* de México. Agrociencia 40 (6):783-792.

Madrigal-Sánchez, X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. Et Cham.) en el Valle de México. Boletín Técnico No. 18. INIF. México, D. F. 94 p.

Manzanilla-Bolio, H. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 165 p.

Martínez, M. 1948. Los *Abies* mexicanos. *In:* Anales del Instituto de Biología de México. No. 1, Tomo XIX. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 104 p.

Martínez, M. 1953. Las Pináceas Mexicanas. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Secretaría de Recursos Forestales y de Caza. México. 362 p.

Moreno Ch., L.R., M.A. López L., E. Estañol B. y A. Velázquez M.. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en vivero mediante el DRIS. Madera y Bosques 8(1):51-60.

Nieto de Pascual-Pola, C. 1995. Estudio sinecológico del bosque de oyamel de la Cañada Contreras, D.F. Rev. Cien. For. en Mex. 20 (77):3-34.

Nieto de Pascual-Pola, C. 2004. Regeneración del oyamel, *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham., bajo condiciones naturales y controladas. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM. 142 p.

Nieto de Pascual-Pola, C., M.A. Musálem Santiago y J. Ortega Alcalá. 2003. Estudio de algunas características de conos y semillas de *A. religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham. Agrociencia 37(5):521-531.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion). 1971. Informe de la segunda reunión del cuadro de expertos de la FAO en recursos genéticos forestales. Georgia, EUA.

Pérez-Suárez, M., V.M. Cetina-Alcalá, A. Aldrete, M.E. Fenn y L.L Landois-Palencia. 2006. Química de la precipitación pluvial en dos bosques de la cuenca de la Ciudad de México. Agrociencia 40(2):239-248.

Rodríguez-Trejo, D.A. 2006. Notas sobre el diseño de plantaciones de restauración. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 12(2):111-123.

Saavedra-Romero, L. de L., D. Alvarado-Rosales, J. Vargas-Hernández y T. Hernández-Tejeda. 2003. Análisis de la

precipitación pluvial en bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. *et* Cham., en el sur de la Ciudad de México. Agrociencia 37 (1):57-63.

Santiago-Trinidad, O. 2002. Evaluacion del crecimiento en vivero de plantulas de cinco especies de coniferas producidas en tres mezclas de sustratos y tres tamaños de contenedor. Tesis de Maestría, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 241p.

Vázquez-Soto, J. 1987. El saneamiento y la limpia forestal en el Desierto de los Leones. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural (COCODER). México, D.F. 24 p.

Vázquez-Soto, J. 1988. Los tratamientos silvícolas del Desierto de los Leones sus fundamentos. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural (COCODER). Departamento del Distrito Federal. México, D.F. 34 p.

Weaver M.-J. y R.-J. Stipes. 1988. White pine decline: a case study from Virginia landscapes. Journal of Arboriculture 14(5):109-120.

Zobel, B.J. y J.T. Talbert. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley and Sons. Nueva York, EUA. 505 p.

Manuscrito recibido el 17 de enero de 2010.
Aceptado el 10 de septiembre de 2011.

Este documento se debe citar como: Benavides-Meza, H.M., M.O. Gazca Guzmán, S.F. López López, F. Camacho Morfín, D. Young Fernández Grandizo, M.P. de la Garza López de Lara y F.N. Martínez. Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham., en condiciones de vivero. *Madera y Bosques* 17(3):83-102.

MADERA Y BOSQUES Vol. 17 Núm. 3
Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2011
en los talleres de Cromoeditores S.A. de C.V.
Miravalle 703 Col. Portales C.P. 03570, México, D.F.

La edición consta de 300 ejemplares
más sobrantes para reposición.



Madera y Bosques 17(3), 2011

CONTENIDO